UNICEM

Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives

Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières

ENCEM
Juin 2011
Réf : REA A5 11 G

Les études de l'UNICEM - Nature et paysage

Préface

Des ouvertures pour la biodiversité

L'expression « roches massives », par l'image de puissance, voire d'écrasement, qu'elle véhicule ne prépare pas à rêver de biodiversité.
Et pourtant ...

Faut-il rappeler que la Nature a aussi une dimension minérale ? A-t-on oublié que le vivant se nourrit aussi, a besoin des richesses de la roche ? Ne sait-on pas que ce qu'on appelle biodiversité, fleurs, oiseaux, microbes, grenouilles et papillons, c'est d'abord le tissu vivant de la Terre : un réseau d'organismes interagissants et interdépendants qui ont autant besoin d'espace que de ressources.

Les cicatrices que laissent les carrières dans le manteau ou les sous-vêtements rocheux de notre planète sont autant d'ouvertures propices à la colonisation du vivant, à certaines composantes de la biodiversité.
Rien de figé dans la nature : la biodiversité est le fruit d'une dynamique incessante d'interactions, de changements d'équilibres, de flux et de reflux. Et nous y avons notre part, légitime quoique parfois inutilement excessive, donc dommageable, pour nous et le reste du vivant. Tout cela peut se gérer, être canalisé intelligemment. Encore faut-il être aidé, car les savoirs à maîtriser pour y réussir sans déconvenues sont multiples et l'expérience de la chose irremplaçable.

Voilà pourquoi ce manuel pratique, fruit d'une longue expérimentation éclairée tant par les principes de l'écologie que par les savoirs naturalistes locaux, est plus que bienvenu : fort précieux ! Une contribution à cette écologie de la restauration dont nous aurons autant besoin en ce XXI^{e} siècle crucial pour l'avenir de notre espèce que des sciences de la conservation de la nature.

Robert BARBAULT
Directeur du département Écologie et Gestion de la Biodiversité du Muséum national d'histoire naturelle et professeur à l'Université Pierre et Marie Curie

Avant-propos

Forte de sa capacité à mener des études, après avoir exploré les relations entre les carrières et les zones humides, la profession s'est engagée dans un important programme de recherches sur les interactions entre la biodiversité et les carrières de roches massives.

Cette initiative, menée en partenariat avec le monde scientifique, a rassemblé deux autres acteurs importants de l'industrie extractive : les cimentiers et les chaufourniers. 35 sites sélectionnés parmi un échantillon d'études de plus de cent carrières en activité ou remises en état ont fait l'objet d'inventaires approfondis. Ces derniers ont permis de découvrir et d'identifier une biodiversité riche et abondante souvent consécutive aux travaux d'exploitation. Notre activité a la particularité de contribuer à créer des milieux intéressants. C'est ce que démontrent les études que la profession a menées avec la plus grande rigueur. Grâce à l'observation des milieux de carrières, nous connaissons et comprenons mieux comment fonctionne cet écosystème particulier.

Sur la base de ces connaissances, nous proposons maintenant un guide de bonnes pratiques à mettre en œuvre pour gérer et aménager de façon écologique les carrières de roches massives. Cet outil devrait permettre d'aller plus loin dans le concept du réaménagement en favorisant l'apparition et le maintien de milieux favorables aux espèces qui se développent dans nos carrières. Il s'inscrit dans la démarche de la profession en faveur du développement durable et plaide pour une croissance harmonieuse de notre activité qui prenne en compte les enjeux sociétaux de la biodiversité.

Nous comptons sur l'appui de toutes les parties prenantes pour encourager nos professionnels à mettre en œuvre les bonnes pratiques recommandées par ce guide. Pour autant, l'adoption de ces pratiques ne doit en aucun cas constituer un frein à l'exploitation de nos gisements de ressources naturelles si utiles au développement de nos territoires.

Je vous invite à prendre connaissance de cet ouvrage et à en suivre les recommandations. Que l'ensemble des scientifiques et des professionnels qui ont participé au programme d'études et à la publication de ce guide soient ici vivement remerciés.

Nicolas VUILLIER
Président de l'Union nationale des producteurs de granulats

Bruno CARRÉ
Président du Syndicat français de l'industrie cimentière

Philippe CARROUCHÉ
Président de l'Union des producteurs de chaux

Ce guide constitue le troisième et dernier volet du programme d'études sur les potentialités écologiques des carrières de roches massives.

Lancé en 2000, ce programme financé par l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG), avec la participation du Syndicat français de l'industrie cimentière (SFIC) et de l'Union des producteurs de chaux (UP'Chaux), a débuté par une analyse bibliographique internationale (ENCEM, 2007).

Des inventaires de terrain (faune, flore, habitats naturels) ont ensuite été réalisés en 2004 et 2005 sur 35 carrières réparties sur le territoire national. Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse détaillée et d'une synthèse en 2008 (ENCEM, 2008).

Ces études sur les carrières de roches massives font suite à celles menées sur les exploitations de sablières entre 1995 et 2004 dans le cadre du programme intitulé « Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières », selon une démarche analogue (analyse bibliographique, inventaires de terrain et rédaction d'un guide pratique).

Les rapports de ces études, ainsi que le présent document, sont disponibles sous forme de CD à l'UNICEM 3, rue Alfred Roll 75849 PARIS cedex 17.

La réalisation du guide, comme l'ensemble du programme d'études, a été suivie par un comité de pilotage présidé par Patrick LECOMTE (GSM Ouest Pays de Loire). Ce comité de pilotage s'est appuyé sur un comité scientifique qui a validé les choix méthodologiques et le contenu des différents rapports. La composition de ces comités figure page 5.

La maîtrise d'œuvre a été assurée par le bureau d'études ENCEM :

- Didier VOELTZEL : conception, rédaction, dessin, recherche iconographique et mise en page ;
- Yann FÉVRIER : recherche de données et rédaction ;
- Sonia LANDREAU : conception graphique et mise en forme du document final.

Le texte sur la règlementation relative à la remise en état (§ 2.4) a été rédigé par Christophe VANNIER (ENCEM). Les références bibliographiques et le glossaire ont été réalisés par Christel ROGER (ENCEM).

L'évaluation de la faisabilité technique et du coût des aménagements écologiques a été confiée à Claude BAILLARGEAU (directeur d'exploitation de la société CALCIA), Claude PIONNEAU (directeur d'exploitation de la SA ROY) et Guy TOUCHARD (directeur développement de la société Carrières du Boulonnais).

Nous remercions l'ensemble des personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de ce guide, par les informations fournies sur des expériences menées en carrières de roches massives et/ou par le prêt de photographies. La liste de ces personnes et les crédits photographiques figurent respectivement en pages 209 et 211.

La citation de ce document dans les références bibliographiques doit se faire comme suit :

© VOELTZEL D. et FÉVRIER Y. (ENCEM), 2010. Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives. Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières. ENCEM et CNC - UNPG, SFIC et UPC.

Composition du comité de pilotage

La réalisation du guide a été suivie par un comité de pilotage animé par Patrick LECOMTE (GSM Ouest Pays de Loire) et constitué des personnes suivantes :

Comité scientifique	
Robert BARBAULT	Muséum national d'histoire naturelle
Frédéric BIORET	Université de Bretagne occidentale
Bruno de FOUCAULT	Conseil scientifique de l'environnement Nord-Pas-de-Calais
Bernard FROCHOT	Université de Bourgogne
Didier LECOEUR	École nationale supérieure d'agronomie de Rennes
Jean-Yves MONNAT	Université de Bretagne occidentale
Scientifiques associés	
James ARONSON	CEFE/CNRS - Restoration ecology group
Serge MULLER	Université de Metz
Jean-Philippe SIBLET	Muséum national d'histoire naturelle

Comité de pilotage	
Yves ADAM	UNPG
Hugues BERBEY	TARMAC Granulats
Eric CARENCO	Carrières de la Loire
Cristiana CIARALDI	Syndicat français de l'industrie cimentière
Christian CORLAY	UNICEM Bretagne
Julien DECAUX	CEMEX, service Environnement et Foncier
Dominique DELORME	UNICEM Rhône-Alpes
Jean-Marc DUBOIS	Eurovia Bretagne
Stéphane DURAND-GUYOMARD	Lafarge Granulats Bretagne
Jean-Christophe FAUCHADOUR	Lafarge Ciments
Marc LANSIART	BRGM/Service Environnement
Dominique LAUREAU	Président de la commission Roches éruptives de l'UNPG - SA ROY
Patrick LECOMTE	GSM Ouest Pays de Loire
Louis de MAUPEOU	UNICEM Pays de la Loire
Thierry MEILLAND-REY	Groupe VICAT
Louis NATTER	UNPG
Christian PIKETTY	UNPG – Président de la commission Accès à la Ressource et Développement durable
Laurence PATOUREL	Union des Producteurs de Chaux
Gilles POULAIN	Carrières du Boulonnais
Olivier POULAIN	Carrières du Boulonnais
Matthias ROHAUT	GSM Ouest Pays de Loire
Marc SÉVIGNÉ	Président de la commission Roches Calcaires de l'UNPG - Sévigné Industries
Guy TOUCHARD	Carrières du Boulonnais
Olivier VERDIER	ENCEM

SOMMAIRE

1 Introduction

1.1 Avertissement 11
1.2 Pourquoi un guide ? 11
1.3 Pourquoi une gestion écologique au quotidien ? 12
1.4 À qui s'adresse ce guide ? 12
1.5 Comment utiliser ce guide ? 13
1.6 Quelles sont les sources des données ? 15

2 Les carrières de roches massives

19 ..... 2.1 Les carrières en France
21 ..... 2.2 Principales caractéristiques physiques des carrières de roches massives
25 ..... 2.3 Quelques notions d'écologie adaptées aux carrières de roches massives
30 ..... 2.4 La réglementation

3 L'organisation de la gestion au quotidien et des aménagements

3.1 Introduction 45
3.2 Les étapes de l'organisation de la gestion et des aménagements 45
3.3 Différents niveaux d'intervention 46
3.4 Plan de gestion, plan d'aménagement et suivi écologique 48

4 Données générales sur la gestion et les aménagements écologiques en carrières

61 ..... 4.1 Les grandes orientations du guide
63 ..... 4.2 Quelques principes de l'aménagement écologique en carrière
65 ..... 4.3 Les corridors écologiques
69 ..... 4.4 Les milieux aquatiques
73 ..... 4.5 L'entretien de la végétation
89 ..... 4.6 Les travaux de végétalisation
99 ..... 4.7 Les travaux de restauration par transfert de milieu
101 ..... 4.8 L'ouverture au public

5 Gestion et aménagement écologiques des différents secteurs d'exploitation

5.1 Mode d'emploi des fiches 107
5.2 Localisation des secteurs d'exploitation 108

FICHES

1. Les remblais de matériaux stériles 109
2. Les merlons et stocks de terre végétale 121
3. Les zones décapées 129
4. Les fronts de taille 137
5. Les éboulis et dépôts de blocs rocheux 153
6. Les dépôts et zones de matériaux fins 161
7. Les carreaux et mares temporaires 169
8. Les bassins permanents 181
9. Les bassins de décantation 189
10. Les plans d'eau de fosse 197

Conclusion 207
Remerciements 209
Crédits photographiques 211
Références bibliographiques 213
Sigles et acronymes 216
Glossaire 217
Table des matières 227

1- Introduction

> *Avertissement*
> *Pourquoi un guide ?*
> *Pourquoi une gestion écologique au quotidien ?*
> *À qui s'adresse ce guide ?*
> *Comment utiliser ce guide ?*
> *Quelles sont les sources des données ?*

1.1 Avertissement

Ce guide est destiné à aider les exploitants de carrières qui le souhaitent ou qui en ont besoin à intégrer une dimension écologique dans la gestion et la remise en état de leur carrière, au sein des périmètres exploités. Il ne s'agit donc pas d'apporter des contraintes supplémentaires dans les exploitations dont la vocation est avant tout de produire de la matière première minérale.

En effet, le fait de rassembler dans un même document, comme dans un catalogue, un ensemble diversifié d'espèces et de milieux observés sur un large panel de sites pourrait donner l'impression que l'on peut transformer toute carrière en activité en un éden de nature. La réalité est bien différente dans la mesure où chaque carrier doit faire face à de nombreuses contraintes d'exploitation ou administratives qui ne sont pas forcément compatibles avec une gestion écologique du site. Par exemple, ne pas alimenter un remblai de matériaux stériles durant la période printanière (cf. page 63) est impossible si la carrière produit des stériles tout au long de l'année. Cette recommandation ne vaut que si l'exploitant dispose d'une certaine marge de manœuvre qui lui laisse véritablement le choix dans sa période de mise en remblai.

Cet exemple peut être généralisé à toutes les recommandations formulées, chaque exploitation présentant des spécificités qui la rendent unique et ne permettent pas d'appliquer les préconisations comme s'il s'agissait de recettes adaptables à toute situation. Les principales contraintes, en termes de gestion et d'aménagement écologique, sont la surface disponible, le phasage de l'exploitation, la sécurité du personnel et du public, l'intégration paysagère du site. L'exploitant et le personnel de la carrière sont les personnes les plus aptes à apprécier la faisabilité d'une opération de gestion ou d'aménagement écologique. L'aide d'un expert s'avérera souvent utile pour peaufiner le projet vis-à-vis de détails nécessitant des compétences en écologie.

Rappelons enfin que si le « retour à la nature » est la vocation la plus courante des carrières de roches massives après arrêt de l'activité, un certain nombre de sites connaissent d'autres modes de remise en état : plan d'eau de loisirs, site d'escalade, réserve d'eau potable, réserve d'irrigation agricole, etc. Ces usages ne sont toutefois pas toujours incompatibles avec l'aménagement de milieux naturels.

1.2 Pourquoi un guide ?

Une carrière modifie totalement les milieux dans lesquels elle s'implante et crée spontanément de nouveaux habitats naturels, parfois assez proches des milieux originels (pelouse* calcicole* par exemple), souvent complètement différents, du moins à l'échelle d'une ou plusieurs vies humaines.

Les études menées depuis plusieurs décennies à la demande des professionnels de l'industrie extractive, et notamment les inventaires réalisés sur 35 carrières en 2004 et 2005 (ENCEM, 2008), ont confirmé l'intérêt écologique des carrières de roches massives en apportant des précisions sur les habitats naturels et les biocénoses* qui colonisent les exploitations, tant durant leur phase d'activité qu'après leur remise en état.

Ces inventaires ont permis de constater que le niveau de biodiversité est très variable d'une carrière à l'autre, qu'il s'agisse là encore d'un site en activité ou remis en état. Certaines carrières s'avèrent pauvres alors que leurs potentialités d'accueil pour la faune et la flore sont fortes. D'autres, après remise en état, ont perdu l'essentiel de l'intérêt écologique ou des potentialités d'accueil qu'elles avaient durant l'exploitation, soit parce que les travaux ont totalement banalisé le site (pour un coût financier souvent bien supérieur à celui d'une valorisation écologique), soit pour d'autres raisons (ennoiement de la fosse par exemple). Il est donc essentiel de donner aux exploitants de carrières qui le souhaitent des outils permettant d'intégrer une dimension écologique dans la gestion quotidienne et dans la remise en état de leur site.

Le génie écologique en carrières de roches massives est un vaste terrain à défricher. Les expériences sont peu nombreuses ou n'ont fait que rarement l'objet de notes détaillées permettant d'évaluer précisément les résultats des aménagements. De ce fait, ce guide s'appuie essentiellement sur l'observation des milieux de carrières et sur le génie écologique réalisé sur les habitats naturels hors carrières (cf. § 1.6).

Il importe de préciser que ce guide s'intéresse essentiellement à la **réaffectation*** écologique des carrières, c'est-à-dire à la création puis au maintien de milieux naturels nouveaux, souvent différents des milieux d'origine. Il ne s'agit donc pas de **restauration*** au sens scientifique du terme, cette approche n'étant applicable qu'à des milieux susceptibles de retrouver leur état d'origine.

1.3 Pourquoi une gestion écologique au quotidien ?

Une des spécificités du guide, peut-être la principale, est de ne pas se limiter à la remise en état du site, une fois l'exploitation terminée, mais de prendre en compte la faune et la flore qui s'installent spontanément sur les carrières en activité, pour si possible les conserver et augmenter leurs effectifs et leurs diversités.

Cette approche s'appuie sur plusieurs constats :

- **les carrières de roches massives ont des durées d'exploitation longues**, bien supérieures à 30 ans, qui dépassent de beaucoup celles des sablières. Les espaces situés en marge des zones principales d'activité occupent parfois des surfaces importantes sur les carrières anciennes. Ils peuvent bénéficier d'aménagements et de mesures simples de gestion écologique durant plusieurs décennies, éventuellement dans le cadre d'une remise en état coordonnée à l'avancée de l'exploitation ;
- **sur une carrière en activité, le personnel et le matériel sont éventuellement disponibles** pour gérer le site et réaliser ces aménagements ;
- **paradoxalement, malgré l'activité d'exploitation, une carrière en activité est une zone de quiétude pour la faune et la flore** (site fermé au public notamment), ce qui n'est pas toujours le cas des sites remis en état ;
- **la remise en état peut banaliser les milieux naturels créés par l'exploitation**, notamment pour des raisons de mise en sécurité et d'insertion paysagère ;
- **une remise en état à vocation écologique** *stricto sensu* s'inscrit logiquement dans la continuité d'une gestion écologique du site durant son exploitation (connaissance des habitats et des peuplements en place et potentiellement présents) ;
- **face à la banalisation biologique des campagnes**, souvent dévolues à une production agricole industrielle, les carrières en activité sont désormais susceptibles de constituer des zones refuges pour la faune et la flore.

1.4 À qui s'adresse ce guide ?

Ce guide a d'abord été réalisé à l'attention des exploitants et personnels des carrières, qui sont concernés au jour le jour par la gestion écologique de leur site. Les employés sont généralement attentifs aux animaux qui fréquentent la carrière et n'ont pas attendu ce guide pour s'occuper, par exemple, des oiseaux nichant sur les fronts. Mais de nombreux milieux de la carrière recèlent des richesses biologiques souvent insoupçonnées (amphibiens, invertébrés, flore...) qui pourraient bénéficier du même intérêt si des informations pratiques étaient facilement disponibles.

Les aménagements à mettre en place pour la remise en état du site constituent le second volet du guide. Là encore, l'exploitant peut facilement donner une valeur écologique aux secteurs qu'il remet en état en respectant quelques règles simples.

Mais un exploitant de carrière travaille aussi, de façon ponctuelle ou régulière, avec un ensemble d'interlocuteurs qui trouveront dans ce guide des informations utiles :

- **les bureaux d'études** qui sont souvent amenés à aider les exploitants dans la conception des aménagements à mettre en place pour la remise en état du site, notamment dans le cadre des dossiers ICPE* d'extension ou de renouvellement d'autorisation ;
- **les associations naturalistes et les conservatoires régionaux des espaces naturels (CREN)** qui établissent fréquemment des partenariats avec les exploitants de carrière pour les aider dans la gestion écologique de leurs sites en activité, la remise en état et enfin la gestion des sites après exploitation ;
- **les administrations, collectivités locales, parcs naturels régionaux** qui peuvent, par exemple, travailler en concertation avec un exploitant pour développer des aménagements favorisant des milieux ou des espèces à forte valeur patrimoniale ;
- **les propriétaires** de terrains exploités, soucieux du devenir de leur site et intéressés par une gestion favorable à la biodiversité après exploitation.

1.5 Comment utiliser ce guide ?

Il importe de préciser le contenu de ce guide et la façon de s'en servir.

- **Ce guide ne traite que d'écologie**, c'est-à-dire de milieux et d'espèces colonisant naturellement les carrières, de la façon de les favoriser, parfois de les canaliser (cf. § 4.1 : les grandes orientations du guide). Les aménagements paysagers ou les remises en état forestières, par exemple, présentent des similitudes avec les aménagements écologiques, notamment parce qu'ils reposent tous sur l'utilisation de végétaux, mais les objectifs et les aménagements sont différents.

Pour aider le lecteur dans sa recherche d'informations, des renvois sont insérés au fil du texte vers d'autres guides d'aménagement ou des sources bibliographiques de référence, sous la forme d'encadrés de couleur ocre intitulés « Document de référence » ou sous la forme de liens vers des sites Internet.

- **Les outils de gestion et d'aménagement** sont accessibles par deux entrées distinctes et complémentaires :

1. un ensemble de règles générales et de techniques de base, indispensables pour gérer et aménager les milieux naturels, notamment ceux des carrières (chapitre 4) ;
2. des fiches techniques par secteur d'exploitation, permettant de trouver rapidement de l'information sur les habitats spécifiques de chaque secteur, sur leur gestion et leur aménagement (chapitre 5). Il existe au sein même des fiches plusieurs niveaux de lecture qui sont précisés en introduction.

Bien que l'écologie soit une science complexe, nous avons souhaité une approche simple et pragmatique de la gestion et des aménagements. En simplifiant, il y a deux façons d'utiliser ce guide :

1. l'exploitant qui souhaite faire un aménagement ponctuel, comme par exemple taluter une berge en pente douce sur un bassin de décantation, ou qui se demande comment « gérer » un rapace venant nicher sur un front inexploité devrait pouvoir trouver facilement les informations qu'il recherche, sans assistance particulière ;
2. si le projet est plus ambitieux, par exemple la remise en état d'un vaste secteur, ou plus technique, comme la création d'une nouvelle aire de nidification pour un Faucon pèlerin, il sera nécessaire de se faire conseiller par une personne qualifiée qui trouvera dans le guide des données spécifiques aux carrières et pourra prendre elle-même l'avis de spécialistes si l'aménagement sort de son domaine de compétence.

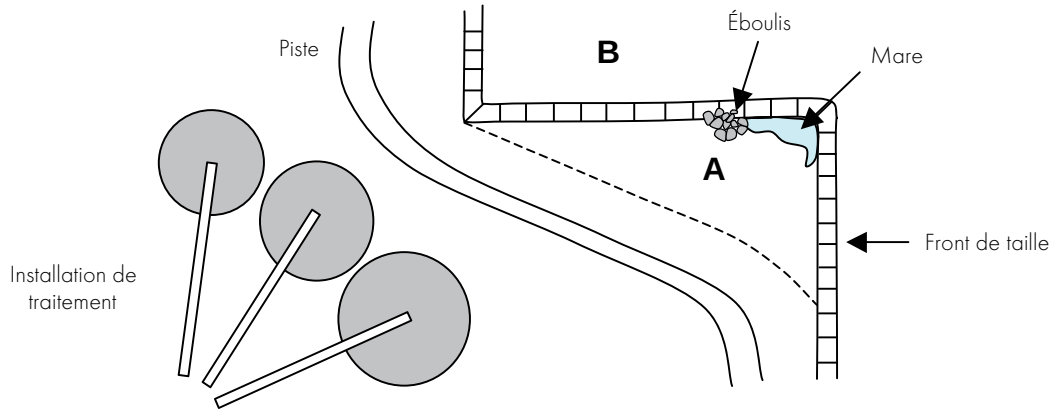
- Il importe de distinguer ce qui est du domaine de la **gestion au quotidien** de ce qui relève des **aménagements.**

On peut illustrer simplement ces deux notions en prenant l'exemple d'un jardin : tondre la pelouse et mettre des graines pour les oiseaux en hiver relèvent de la **gestion au quotidien** alors que planter un arbre, installer une mangeoire ou un nichoir sont des **aménagements**. Ceux-ci peuvent être provisoires (la mangeoire n'est installée qu'en hiver et le nichoir au printemps) ou définitifs (l'arbre restera en place).

Dans chacune des fiches du chapitre 5, par secteur d'exploitation, ces notions font l'objet de deux paragraphes distincts (§ 3 et 4). Par ailleurs, pour éviter toute ambiguïté sur les termes de gestion, d'aménagement et de remise en état utilisés dans le guide, la figure 1 présente un récapitulatif des différentes situations dans lesquelles peut se trouver un exploitant de carrière face à ces notions.

- **Un glossaire** (page 217) donne la signification des termes techniques et scientifiques utilisés. Les termes du glossaire sont signalés par un astérisque * dans le texte. Les sigles et acronymes sont également signalés par un astérisque qui renvoie à la liste de la page 216.

Figure 1 Différentes situations d'exploitation et possibilités de gestion, aménagement et remise en état associées



Situation 1 : le secteur A de la carrière est en sommeil pendant au moins cinq ans, dans l'attente de l'extension au secteur B.

1.1 : l'exploitant ne fait rien du secteur A, qui sert à l'occasion pour du stockage de granulats.

1.2 : l'exploitant décide de favoriser temporairement la biodiversité sur le secteur A en attendant d'exploiter le secteur B.

1.2.1 : le secteur A fait l'objet d'une ***gestion*** écologique : il est laissé en l'état mais ne reçoit plus de granulats. Une rangée de blocs empêche l'accès des engins, par exemple.

1.2.2 : le secteur A est valorisé par quelques ***aménagements*** spécifiques provisoires (extension de la mare et des éboulis par exemple) et pourra faire l'objet d'une ***gestion*** écologique.

Situation 2 : le secteur A de la carrière ne sera plus exploité, l'extension au secteur B étant impossible (la carrière est encore autorisée pendant vingt ans).

2.1 : idem 1.1

2.2 : l'exploitant décide de favoriser temporairement la biodiversité sur le secteur A en attendant une autre utilisation (ateliers...).

2.3 : l'exploitant décide de réaliser une ***remise en état*** coordonnée à l'avancée de l'exploitation[1].

2.2.1 : idem 1.2.1

2.2.2 : idem 1.2.2

2.3.1 : le secteur A est ***remis en état*** avec des ***aménagements*** spécifiques définitifs (bassin permanent, cavité dans le front...)[1]. Il pourra faire l'objet d'une ***gestion*** écologique.

[1] *Si la remise en état est conforme aux prescriptions de l'arrêté préfectoral d'autorisation, le secteur A peut être sorti des surfaces comptabilisées dans le cadre des garanties financières (cf. § 2.4.1).*

La gestion écologique d'une partie de la carrière consiste simplement, comme dans le cadre des milieux naturels, à la mettre à l'abri des activités les plus perturbantes, au moins pendant une partie de l'année, **et/ou à l'entretenir** si besoin (végétation, niveau d'eau... ; cf. liste du tableau 4, § 3.4.1). Elle concerne donc surtout des secteurs placés un peu à l'écart de l'activité principale de la carrière et des secteurs déjà remis en état.

Les aménagements nécessitent des interventions plus lourdes, destinées à **créer** des habitats nécessaires à l'accueil d'une flore et/ou d'une faune particulières (niche dans un front, dépression sur un carreau, enrochement d'un merlon...). Il s'agit éventuellement d'aménagements **provisoires** (quelques années ou quelques dizaines d'années), plus généralement d'aménagements **définitifs** réalisés alors dans le cadre de la remise en état coordonnée à l'avancée de l'exploitation.

La remise en état est destinée à donner au site sa vocation future, une fois que l'exploitation sera terminée. Une remise en état à vocation écologique ne demande parfois que des aménagements minimes, qui auront été mis en place pour partie durant l'exploitation du site. Des aménagements plus conséquents, notamment paysagers, peuvent être nécessaires.

Il importe d'avoir à l'esprit que la réglementation sur les espèces protégées (cf. § 2.4.2) n'est pas favorable actuellement aux opérations de gestion au quotidien et aux aménagements écologiques provisoires. En effet, du fait de leur statut de protection intégrale, les espèces favorisées par ces aménagements (vertébrés notamment : amphibiens, reptiles, oiseaux) risquent de constituer une contrainte supplémentaire dans l'exploitation si la réglementation impose une dérogation systématique pour destruction et des mesures compensatoires associées lors de chaque demande de renouvellement d'autorisation.

Ces contraintes ne concernent pas la gestion et les aménagements définitifs mis en place dans le cadre de la remise en état et qui peuvent même constituer des mesures compensatoires dans le cadre d'une demande d'autorisation d'extension ou de renouvellement.

1.6 Quelles sont les sources des données ?

Les données utilisées pour rédiger ce guide ont diverses origines :

- le programme d'études sur les potentialités écologiques des carrières de roches massives, démarré en 2000, a fourni l'essentiel des informations, d'abord par les deux études bibliographiques portant sur les roches éruptives et les roches calcaires (ENCEM, 2007), puis par le pré-inventaire mené sur un échantillon de 103 carrières et enfin par les inventaires approfondis réalisés sur 35 carrières (ENCEM, 2008) ;

- les structures naturalistes connues en France métropolitaine (associations de protection de la nature, Conservatoires régionaux des espaces naturels, Centres permanents d'initiative pour l'environnement...) ont reçu un courrier de demande d'informations (275 courriers envoyés). De nombreux contacts ont été pris ensuite par courrier électronique et téléphone et ont permis de recueillir des données sur des aménagements ou des expériences de gestion ;

- 71 bureaux d'études spécialisés en écologie ou dans l'environnement des carrières ont également reçu une demande d'informations. Quatre nous ont répondu. Plusieurs agences régionales d'ENCEM ont envoyé des informations ;

- tous les Parcs naturels régionaux ont été contactés mais aucun n'a fourni de données ;

- tous les adhérents des UNICEM régionales ont été contactés par courrier électronique. Des échanges ont ensuite été établis, en particulier par le biais de structures naturalistes travaillant en partenariat avec des exploitants.

Comme prévu, les données de gestion et d'aménagements à vocation écologique en carrières de roches massives ont été relativement peu nombreuses. Les préconisations du guide s'appuient donc pour l'essentiel sur l'observation de milieux naturels créés involontairement, ainsi que sur des milieux hors carrières.

2 - Les carrières de roches massives

> *Les carrières en France*
> *Principales caractéristiques physiques des carrières de roches massives*
> *Quelques notions d'écologie adaptées aux carrières de roches massives*
> *La réglementation*

2.1 Les carrières en France

2.1.1 Surface et nombre

Une carrière est une zone d'extraction de substances minérales qui ne sont ni métalliques (minerais) ni carbonifères (charbon, pétrole...). On y exploite donc la roche brute sous ses deux principales formes :

- les roches meubles : sables déposés par les rivières ou les mers, argile, gypse... ;
- les roches massives : roches éruptives, métamorphiques et sédimentaires consolidées (cf. § 2.2.1).

2 700 carrières de granulats en activité ont été comptabilisées en 2005. Si on ajoute 33 carrières de cimenteries, environ 200 carrières de pierre de taille et une centaine de carrières de calcaires industriels, le nombre total de carrières en activité dépasse les 3 000 sites. Ces derniers sont en majorité localisés à proximité des agglomérations urbaines, principaux sites de consommation.

Le nombre de carrières dont l'exploitation est arrêtée n'est pas connu au niveau national. En région Bretagne, un inventaire mené par le BRGM en 1999 a permis de recenser près de 1 800 anciens sites d'extraction, souvent de très petite superficie et surtout localisés en milieu rural.

2.1.2 Production

Les granulats constituent la production de loin la plus importante des carrières, avec environ 400 millions de tonnes par an (donnée UNICEM année 2008). Il s'agit de roches meubles ou de morceaux de roche massive concassée, dont la taille est comprise entre 0 et 125 mm (sables et graviers), qui servent à la construction des routes et des bâtiments. Le schéma ci-contre fait apparaître la quantité de granulats nécessaire à la construction de différents types d'ouvrages, avec ce que chaque ouvrage représente dans la production d'une carrière de production moyenne (400 000 tonnes/an).

D'après schéma UNPG/Piran'art

Si l'on rapporte cette consommation à la population française, on peut estimer que chaque habitant « consomme » 7,2 tonnes de granulats par an. En 2007, les carrières de roches massives représentaient 54 % de la production nationale de granulats.

Les carrières de cimenteries ont extrait environ 17 millions de tonnes de calcaire en 2005, ce qui correspond à une consommation de près de 380 kg/habitant/an. Les autres carrières de **calcaires industriels** (chaux notamment) ont une production nettement plus faible, de l'ordre de 3 millions de tonnes/an.

Les carrières de pierre de taille ont produit environ 460 000 m^3 en 2009.

2.2 Principales caractéristiques physiques des carrières de roches massives

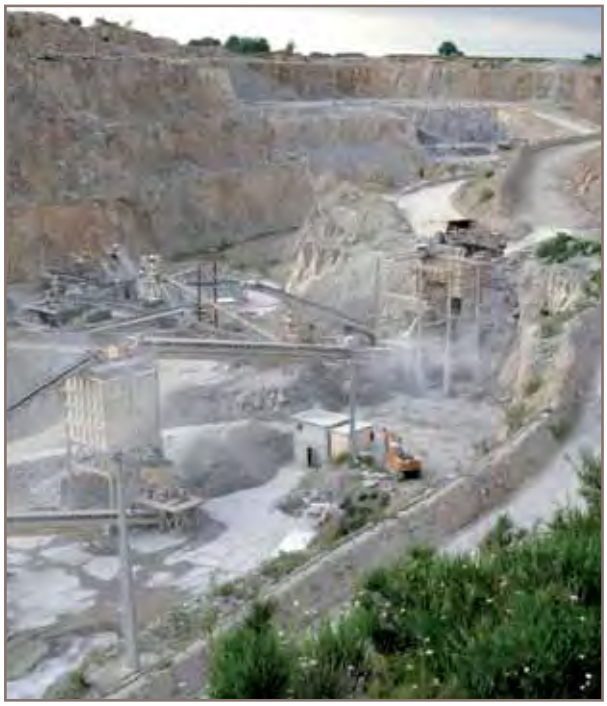
Les carrières de roches massives regroupent plusieurs types d'exploitation de matériaux :

- les carrières de **granulats**, qui concassent la roche en éléments de granulométrie très variable (du sable au bloc rocheux) pour la construction des routes et pour le bâtiment (béton). C'est de loin la principale production des carrières. Toutes les natures de roches sont concernées mais les utilisations varient en fonction des caractéristiques géotechniques du matériau (sous-couche routière, bitume, ballast de voie ferrée, ouvrages d'art...) ;
- les carrières de **calcaires industriels**. Il s'agit de calcaires broyés pour différents usages : ciment, chaux, amendements agricoles, charges minérales (peintures, papiers...), etc. Ce sont donc des roches calcaires aux caractéristiques physiques et chimiques particulières (dureté, blancheur, teneur en carbonate de calcium...) ;
- les carrières de **pierre de taille**. Ces carrières autrefois abondantes lorsque les habitations étaient construites en pierre sont de moins en moins nombreuses. Là encore, seules certaines roches aux caractéristiques bien définies sont exploitées (granite, ardoise, tuffeau, pierre du Lot, marbre...). Les roches calcaires représentent environ les trois quarts de la production et sont pour partie exploitées en souterrain.

Les modes d'exploitation des carrières de granulats et de calcaires industriels sont quasiment identiques. De ce fait, les habitats et les biocénoses* qui les colonisent sont également similaires. Ce sont ces deux types d'exploitation qui ont fait l'objet d'inventaires de terrain dans le cadre du programme d'études sur les carrières de roches massives (ENCEM, 2008).

Les carrières de pierre de taille se distinguent par la présence de fronts lisses, notamment en calcaire (coupe au fil diamanté pour certaines), et de remblais de blocs de grande dimension. L'effet de ces caractéristiques sur la faune et la flore n'est pas connu, ce type d'exploitation n'ayant pas fait l'objet d'inventaires détaillés.

Figure 2 Carrières de granulats et de pierre de taille



Carrière de granulats des Deux-Sèvres (granite). Les installations de traitement qui servent à transformer la roche en granulats peuvent occuper des surfaces importantes si le traitement est sophistiqué (nombreuses granulométries, lavage des matériaux...).*

Ancienne carrière de pierre de taille calcaire des Pyrénées-Atlantiques. Les coupes de blocs à la haveuse ou au fil diamanté donnent des surfaces très lisses au niveau des fronts et des carreaux. Ces derniers ne sont colonisés que très lentement par la végétation après exploitation. Dans les carrières de pierre de taille siliceuses (granite notamment), les surfaces sont moins lisses.

2.2.1 *La nature de la roche*

La nature de la roche conditionne de façon importante la nature des habitats naturels et des biocénoses* d'une carrière. Elle intervient en effet de façon directe ou indirecte sur plusieurs caractéristiques du substrat* (facteurs édaphiques*) : le pH, le gradient trophique* et le gradient hydrique*.

Dans le tableau1 figurent les principales caractéristiques physico-chimiques des roches de l'échantillon d'étude (ENCEM, 2008), déduites pour partie des observations de terrain et des formations végétales observées. Ces dernières sont reportées sur le tableau 2, en regard des natures de roches sur lesquelles elles se développent.

Tableau 1 Principales natures de roches étudiées et caractéristiques physico-chimiques observées (ENCEM, 2008)

Catégorie « carrières »	Type de roche	Nature de la roche	Caractéristiques physico-chimiques observées
ÉRUPTIF[1]	Volcanique = magmatique éruptif	Basalte	Roches imperméables, pauvres en silice*, donnant des **substrats* peu acides à basiques** (présence localement de bas-marais alcalins)
		Porphyre	
	Plutonique = magmatique intrusif	Granite	Roche imperméable, moyennement riche en silice, donnant des substrats assez acides à peu acides
		Gabbro	Roches imperméables, pauvres en silice, donnant des substrats peu acides à basiques
		Diorite	
	Métamorphique	Amphibolite	Roches imperméables, moyennement riches en silice, donnant des substrats assez acides à peu acides
		Schiste	
		Cornéenne	
		Mylonite	
	Sédimentaire	Grès = quartzite	Roche imperméable, riche en silice, donnant des **substrats acides et oligotrophes** (grève oligotrophe à Littorelle, lande* à éricacées*...)
CALCAIRE	Calcaire dur	Marbre	Roches drainantes, riches en carbonate de calcium, parfois en carbonate de magnésium (dolomies), donnant des substrats basiques
		Calcaire dur	
	Calcaire tendre	Craie	Roches assez drainantes, riches en carbonate de calcium, parfois en carbonate de magnésium (dolomies), donnant des substrats basiques **plus ou moins marneux***

[1] *Le terme « éruptif » utilisé par les carriers correspond aux roches riches en silice*, par opposition aux roches calcaires, et dépasse donc largement le sens géologique du mot éruptif*, limité aux roches résultant de la cristallisation d'un magma (granite, basalte...).*

Légende du tableau 2

Formations végétales

- Formation hygrophile*
- Formation amphibie
- Formation mésophile*
- Formation xérophile*
- Formation ligneuse basse
- Formation ligneuse haute

Sensibilité biologique globale

- Sensibilité forte
- Sensibilité assez forte
- Sensibilité moyenne
- Sensibilité faible

Habitats d'intérêt communautaire

- Habitat non prioritaire
- Habitat prioritaire

Tableau 2 Principales natures de roches étudiées et formations végétales observées (ENCEM, 2008)

Nature de la roche	Code de la formation végétale (ENCEM, 2008)	Formations végétales	Nombre de sites	Nombre d'espèces sensibles par formation	Nombre moyen d'espèces sensibles par site	Habitat d'intérêt communautaire	Sensibilité biologique globale
Calcaires	C.3	Pelouse calcicole* mésophile* subatlantique	7	15	2,1		
	B.11	Prairie hygrophile* méditerranéenne basiphile*	1	3	3		
	D.7	Éboulis calcaires	3	4	1,3		
	B.5	Cladiaie*	1	0	0		
	B.6	Jonçaie* basiphile*	3	3	1		
	B.9	Typhaie* et végétation des roselières basiphiles*	5	4	0,8		
	B.7	Magnocariçaie*	1	0	0		
Calcaires durs	D.3	Pelouse calcicole* xérophile* à orpins	1	0	0		
	D.4	Pelouse calcicole* xérophile* méditerranéenne	1	5	5		
	D.6	Ourlet* xérophile* calcicole*	1	4	4		
	D.5	Friche rudérale* basiphile* xérophile* méditerranéenne	5	3	0,6		
	E.2	Garrigue méditerranéenne	3	0	0		
Calcaires tendres	C.2	Pelouse marnicole méso-hygrophile*	3	13	4,3		
Calcaires, roches volcaniques	F.3	Boisements pionniers mésophiles* basiphiles*	6	6	1		
	B.4	Bas-marais alcalin	3	8	2,7		
Calcaires et éruptifs	A.1	Herbier à characées*	3	2	0,7		
	A.2	Herbier aquatique	8	2	0,3		
	C.9	Végétation rupicole*	2	2	1		
	C.6	Friches rudérales* mésophiles*	18	17	0,9		
	C.5	Prairies mésophiles*	13	10	0,8		
	E.3	Fourrés mésophiles* atlantiques et subatlantiques	26	12	0,5		
	F.1	Saulaies hygrophiles*	13	5	0,4		
	C.7	Ourlets* mésophiles*	8	2	0,3		
	B.8	Typhaie et végétation des roselières neutrophiles*	9	2	0,2		
	F.2	Boisements pionniers *mésophiles* acidiphiles* à neutrophiles*	10	1	0,1		
	B.10	Phragmitaie*	5	0	0		
	C.1	Friche méso-hygrophile*	3	0	0		
	E.4	Fourré mésophile* méditerranéen	2	0	0		
Éruptifs	F.4	Peuplement de Pin sylvestre	1	0	0		
	C.4	Pelouse silicicole* mésophile*	9	5	0,6		
	D.1	Pelouse silicicole* xérophile* subatlantique	8	2	0,3		
	B.13	Prairie hygrophile* mésotrophe*	6	0	0		
	B.14	Prairie méso-hygrophile*	1	0	0		
	C.8	Friche ligneuse* pionnière*	10	0	0		
	D.2	Pelouse silicicole* xérophile* méditerranéenne	1	0	0		
Grès	B.1	Grève* oligotrophe*	5	6	1,2		
	B.12	Prairie hygrophile oligotrophe acidiphile	4	0	0		
	E.1	Lande atlantique à éricacées*	3	0	0		
	B.2	Pelouse hygrophile* oligotrophe* acidiphile*	3	0	0		
Basalte	B.3	Gazon amphibie* méditerranéen	1	2	2		

2.2.2 *Les différents types de carrières*

Figure 3 Les trois principaux types d'exploitation de roches massives

Carrière de gneiss de Loire-Atlantique

Carrière de calcaire primaire de Mayenne

Carrière en fosse
(ou en dent creuse)

Ce type est surtout lié aux régions à la topographie plane, donc aux plaines.

L'exploitation progresse en profondeur pour former un entonnoir qui peut atteindre une centaine de mètres en roche éruptive, généralement moins en roche calcaire.

En roche éruptive, la fosse se remplit d'eau après l'exploitation. En roche calcaire, la carrière ne se remplit que si elle atteint la nappe phréatique (roche perméable).

Carrière de calcaire des Pyrénées-Atlantiques

Carrière à flanc de coteau
(ou à flanc de relief)

En région montagneuse ou de collines, l'exploitation du gisement peut être réalisée à l'horizontale en commençant par le pied du coteau.

Ces carrières restent sèches après exploitation, que la roche soit éruptive ou calcaire.

Carrière de granite de la Haute-Vienne

Carrière mixte en fosse et à flanc de coteau

Souvent, notamment en région de petites collines ou dans les vallées larges des régions de plaine, l'exploitation débute par le coteau puis progresse en profondeur.

Après exploitation, la carrière est souvent formée d'un plan d'eau dominé en partie par un front constitué de plusieurs gradins.

2.3 Quelques notions d'écologie adaptées aux carrières de roches massives

Les notions de **gestion et d'aménagement à vocation écologique** ont pour objet la mise en valeur du patrimoine naturel. Pour comprendre les différentes problématiques de ces interventions et leurs répercussions sur le fonctionnement des écosystèmes*, il semble utile de préciser le sens de quelques notions d'écologie employées au fil de ce document **(un glossaire est également situé page 217).**

Les bases

- **L'écologie**, terme souvent utilisé dans un sens politique ou idéologique de protection globale de l'environnement, est d'abord **la science de l'habitat des êtres vivants** au sens littéral. Elle s'attache donc à étudier **le monde vivant à ses différents degrés d'organisation**. Il ne s'agit donc plus d'étudier la structure et le fonctionnement des organismes (biologie) mais leur relation avec le milieu physique et les autres espèces. On distingue aujourd'hui de nombreuses branches en fonction des objectifs recherchés, dont certaines ne font qu'émerger : écologie du paysage, écologie de la conservation, écologie de la restauration, écologie industrielle, écologie globale, etc. L'*écologie appliquée* vise à gérer au mieux l'environnement et les ressources biologiques naturelles, notamment dans le cas d'aménagements de type industriel tels que les carrières.

- Ce sont les enseignements apportés par l'écologie qui vont permettre la mise en place d'actions de **génie écologique***, c'est-à-dire de **gestion** d'habitats naturels, de **restauration*** de milieux dégradés ou de **création** d'écosystèmes* particuliers. Le génie écologique vise à permettre le maintien ou le redémarrage des mécanismes écologiques nécessaires au fonctionnement de l'écosystème* géré, restauré ou créé. Toutefois, il s'agit là d'une discipline en devenir qui se confronte à de nombreuses difficultés et contraintes. La reconstruction ou même la simple gestion de milieux naturels comporte une grande part d'incertitude et, malgré des efforts parfois considérables, le milieu ou les espèces évoluent souvent d'une manière différente de celle attendue.

- Le mot **biodiversité**, dérivé de *diversité biologique*, est apparu récemment sous l'égide de quelques scientifiques dont le professeur Wilson, puis a été repris à la suite du Sommet de la Terre de Rio (1992). La biodiversité représente le potentiel biologique (donc du vivant) présent en un lieu défini. Elle prend en compte aussi bien la diversité des organismes vivants qui s'y développent (nombre d'espèces, importance des populations) que la diversité des habitats (assemblages d'espèces) et les potentialités de développement et d'adaptation des populations (assimilées à la diversité génétique).

Des éléments clés de l'écologie du paysage[1]

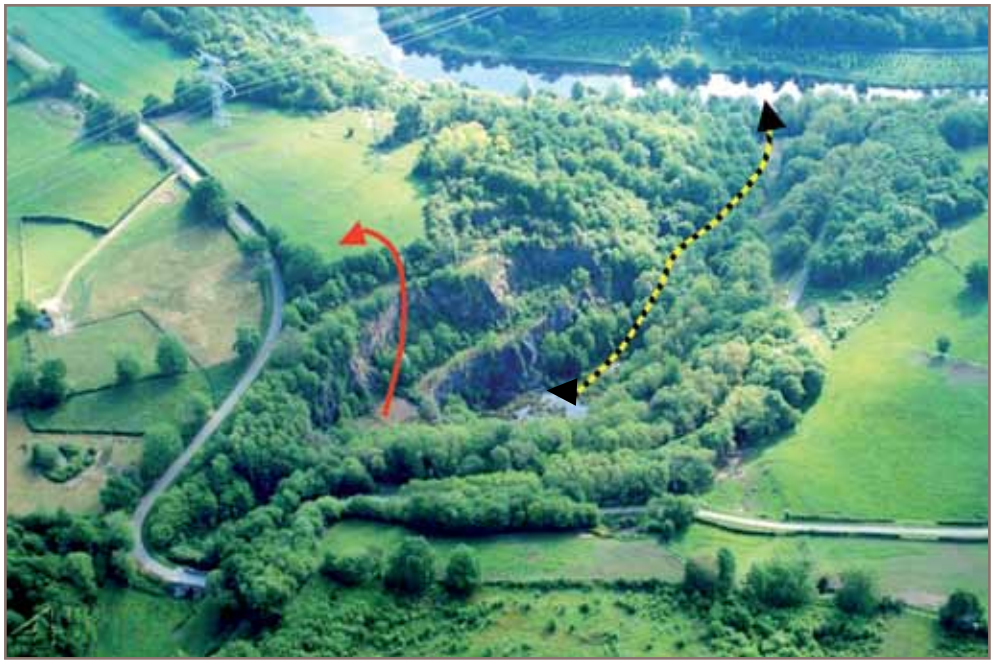
- La **connectivité*** correspond aux potentialités de communication et de transfert des biocénoses* dans un écosystème* donné. Elle est forte si les éléments du paysage susceptibles de favoriser les flux d'individus (dont les graines) sont nombreux et fonctionnels.

- Ces éléments sont généralement désignés sous le terme de **corridor écologique*** et peuvent être de nature très diverse selon les milieux. Ainsi, une haie reliant deux zones boisées au milieu d'une plaine céréalière sera considérée comme un corridor écologique au même titre qu'une allée reliant deux clairières au milieu d'une forêt, ou des fossés reliant deux zones humides. La notion de corridor dépend donc fortement du milieu naturel prédominant.

- Un élément du paysage isolé au centre d'un autre milieu et non connecté par des corridors sera considéré comme un **isolat.** Parfois, les carrières forment partiellement des isolats puisqu'elles sont séparées des autres milieux de même nature et localisées dans un environnement complètement différent (cf. § 4.3).

[1] *L'écologie du paysage est une branche de l'écologie qui traite du fonctionnement des écosystèmes* à l'échelle des paysages ruraux façonnés par l'homme.*

Figure 4 Carrière reliée à une rivière par un corridor



Cette carrière d'amphibolite de l'Indre est reliée à la Creuse par un ruisseau qui constitue un corridor écologique (⇢) et permet que les mares du carreau soient colonisées par une tortue aquatique peu commune, la Cistude d'Europe.

La connexion entre le palier supérieur et les prairies périphériques (→) est plus complexe du fait de la présence des fronts de taille.

La carrière : outil de rajeunissement et opportunité de changement

- Tout milieu naturel perturbé (artificiellement ou naturellement) évolue dans le temps pour tendre vers un stade ultime, appelé **climax***, qui varie en fonction des conditions environnementales du site mais aussi du climat. En France métropolitaine, le climax* correspond généralement à un stade boisé de type forestier, excepté dans des zones soumises à de fortes contraintes comme en altitude, sur le littoral ou dans les secteurs arides.

Figure 5 Carrières boisées

En carrière comme ailleurs, les groupements évoluent généralement vers un stade boisé.

Souvent, comme illustré sur la vue de gauche d'une carrière de grès de Belgique arrêtée depuis une quarantaine d'années, les boisements pionniers de bouleaux ou de saules s'installent de façon durable, la reconstitution d'un sol forestier propre à abriter un peuplement climacique* étant très lente.*

La vue de droite montre une carrière de marbre rouge des Hautes-Pyrénées, inexploitée depuis une cinquantaine d'années. Une hêtraie similaire à celle des peuplements périphériques a recolonisé la carrière, sur des sols minéraux proches de ceux des versants non remaniés. Le stade climacique a été atteint rapidement sur cette ancienne exploitation.*

- Cette évolution se fait par une **succession** de milieux différents. Par exemple, un étang se comblera peu à peu pour constituer un marais, puis une saulaie et aboutira à un milieu forestier.

Figure 6 Succession écologique sur un carreau

Le carreau de cette carrière de grès de la Manche a été régalé de terre végétale en 2002. En 2004 s'était établie une friche prairiale assez diversifiée. Celle-ci évolue naturellement vers des fourrés d'Ajonc d'Europe (2007) qui devraient laisser la place à un boisement pionnier de bouleaux, puis à une chênaie pédonculée et enfin à une chênaie-hêtraie qui constitue le stade climacique* de la végétation dans cette partie de la France.*

Ce processus écologique de successions peut parfois être freiné ou stoppé par des contraintes particulières (absence de substrat* meuble, substrat très pauvre en éléments nutritifs...) ou par l'action de l'homme (fauche, remaniement des terrains...).

Figure 7 Blocage de la dynamique végétale sur une carrière de grès

Sur cette carrière de grès d'Ille-et-Vilaine arrêtée depuis une trentaine d'années, le caractère oligotrophe (absence d'éléments nutritifs) et très compact du substrat* bloque totalement le développement de la végétation sur la partie centrale de la banquette où les quelques pins qui ont réussi à s'installer présentent un port d'arbre nain. Là où les conditions sont un peu moins contraignantes (bordure fracturée de la banquette à droite et éboulis à gauche), les arbres sont un peu plus développés.*

L'exploitant de carrière peut agir facilement sur le processus des successions en favorisant ou non des conditions édaphiques* contraignantes :

- plus le substrat* est compact (dalle rocheuse, remblai fortement tassé), plus l'évolution de la végétation sera lente (voire nulle sur une dalle rocheuse lisse et très compacte) ;
- plus le substrat est riche en éléments nutritifs (terre végétale, remblais amendés), plus la reprise de la végétation sera rapide.

- Un rajeunissement du milieu, au sens écologique du terme, peut également se faire sous l'effet de ce que l'on nomme des **perturbations***. Celles-ci peuvent être d'origine naturelle (incendie, érosion, inondation, conditions météorologiques ...) mais aussi et surtout aujourd'hui d'origine humaine.

L'activité d'extraction est un exemple de perturbation anthropique*. Elle provoque un rajeunissement complet du milieu par destruction des habitats et biocénoses* en place au profit de la création de milieux minéraux neufs. Ces derniers (carreaux, remblais) vont être plus ou moins rapidement colonisés par des espèces dites pionnières* qui formeront le premier maillon de la succession écologique.

Le **niveau de perturbation ou de rupture** est d'autant plus important que la carrière s'inscrit dans un habitat très mature (comme un massif forestier âgé) ou dans un milieu très anthropisé qui n'a plus l'occasion d'évoluer (secteur agricole). Si la carrière s'inscrit dans un paysage à forte naturalité où les affleurements rocheux sont abondants (montagne, région méditerranéenne), le niveau de rupture écologique est nettement moins marqué.

En carrière de roche massive, on distingue essentiellement quatre types de ruptures physiques[2] qui conditionnent la présence des habitats et des biocénoses* observés :

- une **rupture topographique**, liée à la présence de nombreux dénivelés plus ou moins abrupts (fronts de taille, talus de remblais ou de pistes, etc.). Ces milieux sont souvent rares en plaine, parfois inexistants en dehors des carrières ;
- une **rupture édaphique***, le sol organique cédant sa place à un sol minéral. L'utilisation massive de fertilisants minéraux et organiques depuis la seconde moitié du XX^{e} siècle a entraîné une régression des milieux naturels oligotrophes* (pauvres en éléments nutritifs), de façon directe ou indirecte (lessivage des nitrates et des phosphates vers des milieux naturels localisés en périphérie des sols amendés, comme les mares-abreuvoirs par exemple) ;
- une **rupture hydrique***, notamment au niveau des carrières de roches éruptives imperméables où l'eau est omniprésente, sous des formes diversifiées (mares temporaires, bassins permanents, plan d'eau de fosse...). Là encore, on constate une régression généralisée des zones humides depuis une cinquantaine d'années, notamment au niveau des terres agricoles (drainage des prairies humides, remblaiement des mares-abreuvoirs...). La qualité de l'eau (faible teneur en sels minéraux) est un autre élément de cette rupture ;
- une **rupture climatique**, liée à la rupture topographique et au caractère minéral du substrat*. Les milieux secs et chauds (talus pentus exposés au sud, carreau calcaire drainant...) sont particulièrement bien représentés en carrière.

Les habitats et les peuplements induits par ces ruptures physiques s'expriment d'autant mieux qu'ils bénéficient d'un cinquième type de rupture, cette fois à caractère anthropique : **une faible pression humaine**, qui leur permet un total épanouissement, à l'instar de ce qui est observé sur les camps militaires (absence de traitements phytosanitaires, de fauche, d'amendements, de chasse et faible fréquentation humaine).

Figure 8 La rupture de la pression anthropique*

Cette friche sèche qui a colonisé les remblais de matériaux stériles est très riche en orthoptères. Elle n'est soumise à aucune pression anthropique (Lot-et-Garonne).*

[2] *Ces ruptures physiques correspondent aux facteurs dits « abiotiques* », ceux qui sont liés au biotope* (environnement physique) et que l'on divise en deux principales catégories : les facteurs édaphiques* (liés au sol : structure physique, composition chimique...) et les facteurs climatiques. Le fonctionnement d'un écosystème* dépend d'un autre grand type de facteurs : les facteurs « biotiques » qui concernent les relations entre les êtres vivants.*

Figure 9 Les quatre types de ruptures physiques des carrières de roches massives

Le rôle des carrières dans le contexte actuel de banalisation des milieux naturels

L'érosion actuelle de la biodiversité en France est un phénomène en grande partie lié aux modifications des pratiques agricoles et forestières à partir de la seconde moitié du XX^{e} siècle (développement de la mécanisation, des traitements phytosanitaires, des amendements et du drainage, forte régression du pastoralisme, enrésinement des forêts, etc.). Les agriculteurs, autrefois principaux aménageurs du territoire puis « gardiens des paysages », tendent à délaisser ces tâches au profit d'une production toujours croissante. Les milieux naturels ou semi-naturels, c'est-à-dire ceux colonisés de façon spontanée par la faune et la flore, continuent de régresser pour ne plus subsister que dans des zones protégées, de plus en plus morcelées et d'autant plus difficiles à gérer. Dans ce contexte, les carrières de roches massives en activité ou remises en état ont un rôle important à jouer du fait du nombre et de la dispersion des sites sur le territoire national.

2.4 La réglementation

2.4.1 La remise en état

Contexte réglementaire général en matière de remise en état

La remise en état des carrières est une obligation juridique depuis plus de trente ans. Elle est inscrite dans les articles R.512-30 et R.512-35 du code de l'environnement.

La remise en état consiste à effectuer les travaux nécessaires pour assurer l'intégration paysagère et la sécurité du site vis-à-vis du public en créant les conditions permettant le développement d'une nouvelle vocation des terrains. Le cadre juridique des conditions de la mise à l'arrêt définitif et de remise en état est précisé aux articles R.512-74 à R.512-79 de ce même code de l'environnement.

En outre, l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 modifié relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières prévoit en son article 12.2 que :

> "La remise en état comporte au minimum les dispositions suivantes :
>
> - ***la mise en sécurité des fronts de taille,***
> - *le nettoyage de l'ensemble des terrains et, d'une manière générale, la suppression de toutes les structures n'ayant pas d'utilité après la remise en état du site,*
> - ***l'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage, compte tenu de la vocation ultérieure du site".***

Il ne faut donc pas confondre, même si l'amalgame est souvent fait, la **remise en état** avec l'**aménagement** du site qui peut en constituer le prolongement mais s'en distingue par son objectif de valorisation des lieux. On peut alors appeler **réaménagement** du site l'ensemble de ces opérations.

Par exemple, si la vocation d'un plan d'eau de fosse après exploitation est de constituer une zone humide en partie ouverte au public, les travaux de remblaiement de la fosse et de talutage des remblais dans la zone de marnage* du futur plan d'eau sont du ressort de la remise en état. Par contre, la création d'un parking et la mise en place d'un observatoire ornithologique par le propriétaire sont du ressort de l'aménagement du site.

La remise en état est **de la stricte responsabilité de l'exploitant** (même si les avis du (des) propriétaire(s) et du (des) maire(s) sont maintenant nécessaires dans le cadre de la demande d'autorisation). Elle détermine en fin d'autorisation l'obtention du procès verbal de récolement* qui constate la bonne exécution des travaux et permet la levée des garanties financières. L'aménagement est assuré par le propriétaire, parfois dans le cadre d'une concertation avec d'autres acteurs locaux comme les associations, les collectivités locales...

- ***Étude d'impact et arrêté préfectoral*** : le II.5° de l'article R.512-8 du code de l'environnement prévoit que les conditions de remise en état sont présentées dans l'étude d'impact accompagnant le dossier de demande. **C'est l'arrêté préfectoral qui fixe en lui-même, précisément, les conditions de remise en état du site.**

  Cela signifie que, pour une remise en état à vocation écologique, les conditions précises d'aménagement des milieux devraient être définies dès le dépôt du dossier de demande d'autorisation. En pratique, cette anticipation est très difficile, pour ne pas dire impossible, les conditions de remise en état devant être progressivement adaptées aux caractéristiques physiques du site et aux biocénoses* qui le colonisent. Dès lors, un arrêté préfectoral de modification des conditions de remise en état peut être nécessaire.

- ***Les garanties financières*** : depuis 1995, la remise en état d'une carrière est assurée par le dépôt, dès la déclaration de début d'exploitation, de **garanties financières** qui permettent, en cas de défaillance de l'entreprise, de pouvoir faire financer les travaux (articles R.512-5 et R.516-1 à R.516-6 du code de l'environnement). Le préfet se substitue alors à l'exploitant et assure une remise en état suffisante et satisfaisante pour l'environnement, en faisant intervenir une entreprise extérieure au moyen des sommes cautionnées.

- ***L'avis du (des) propriétaire(s) et du (des) maire(s)*** : l'article R.512-6 du code de l'environnement prévoit en son 7° que dans le cadre d'une nouvelle autorisation, d'une extension, l'avis du ou des propriétaire(s) ainsi que celui du ou des maire(s) sur l'état dans lequel le site devra être remis à l'arrêt de l'exploitation doit être fourni avec la demande d'autorisation.

> Cette nouvelle disposition (2007) peut constituer une contrainte pour une remise en état strictement à vocation écologique que des élus ou des propriétaires considéreront a priori inadaptée à une véritable réhabilitation du site.

Dispositions réglementaires particulières

- ***L'utilisation de la terre végétale*** : l'article 10.1 de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 modifié prévoit que ***« l'horizon humifère* et les stériles sont stockés séparément et réutilisés pour la remise en état des lieux ».***

  Cette disposition, qui s'applique à toutes les carrières, est par ailleurs reprise dans la plupart des arrêtés préfectoraux d'autorisation, soit telle quelle, soit implicitement dans les prescriptions relatives à la remise en état du site (*« les terres de découverte seront régalées sur les remblais »* par exemple).

  Dans certains cas, elle peut même être précisée : *« en aucun cas, les terres de décapage ne peuvent être cédées, que ce soit à titre onéreux ou gratuit ».*

  Ce principe apparaît même dans les orientations de certains schémas départementaux des carrières avec lesquels les autorisations de carrières doivent être compatibles. Exemple du schéma des carrières de Haute-Saône, « 8. *Orientations à privilégier en matière de réaménagement des carrières* » : *« Les règles générales sont les suivantes, quel que soit le parti d'aménagement envisagé : ... un soin tout particulier sera apporté à l'enlèvement, au stockage et à la réutilisation des terres de découverte, en particulier la terre végétale...* [3] *».*

> Dans les conditions réglementaires actuelles, la terre végétale doit donc non seulement rester sur le site mais être utilisée pour la remise en état. Dans la mesure où le caractère oligotrophe* des milieux naturels de carrières constitue une de leurs principales spécificités en termes d'habitats et d'espèces remarquables, il apparaît un antagonisme entre cette contrainte réglementaire et une remise en état à vocation écologique (sauf à réserver un espace suffisant de la carrière pour la réutilisation de la terre végétale).

- ***La hauteur des fronts*** : la réglementation actuelle prévoit qu'*« à moins que son profil ne comporte pas de pente supérieure à 45°, le front d'abattage doit être constitué de gradins d'au plus 15 mètres de hauteur verticale, sauf autorisation du préfet »* (article 63 du titre Règles générales du RGIE).

  Le même article prévoit que la hauteur et la pente sont définies par l'exploitant, notamment en fonction de la nature et de la stabilité des terrains.

  L'article 64 suivant indique qu'*« une banquette doit être aménagée au pied de chaque gradin ; sa largeur est fixée... en prenant notamment en compte la stabilité des fronts, le risque de chutes de blocs ...».*

[3] *Il convient de signaler toutefois que ce schéma des carrières note qu'en cas de réaménagement naturel, une étude spécifique indiquant les principes de réaménagement à privilégier serait nécessaire* ***pour compléter les principes généraux.***

Il s'agit de dispositions visant la période d'exploitation de la carrière. Tout aménagement réalisé sur un secteur en exploitation doit donc en tenir compte. **Une hauteur de paroi supérieure à 15 m suppose de demander une dérogation.**

La remise en état comprend au minimum la mise en sécurité du site. L'exploitant doit donc prendre toutes les dispositions nécessaires pour assurer la stabilité des fronts, en évitant notamment les risques d'éboulement. Cet extrait d'une plaquette de la DRIRE* illustre bien cette préoccupation de l'administration : *« Afin d'assurer la sécurité du site, des travaux peuvent être nécessaires. C'est notamment le cas pour les exploitations de roche dure (en terrasse). Les gradins résiduels ne doivent pas être trop hauts, pour s'insérer correctement dans le paysage. En outre, ils doivent être stabilisés par des opérations de purge des fronts, de talutage du front de taille par écrêtage, de mise en place de pièges à cailloux et de barrières physiques ou la stabilisation des pentes par des plantations ».*

L'aménagement écologique des fronts, en particulier pour favoriser la nidification des oiseaux rupestres, vise à conserver ou créer des parois irrégulières, riches en vires et cavités. Pour l'accueil de certaines espèces (Faucon pèlerin), un front de grande hauteur (au moins 30 m d'un seul tenant) est souvent nécessaire. Il peut donc y avoir incompatibilité entre la valorisation écologique des fronts et les exigences de l'administration en termes de sécurité.

Si l'on veut déroger aux règles générales, il convient d'apporter des éléments tangibles quant à la stabilité des fronts à aménager, en fonction de l'ampleur et de la surface des aménagements.

Une conception réglementaire floue de la remise en état écologique

Valoriser une carrière par une remise en état à vocation écologique est un **principe** globalement bien accepté par l'administration, parfois recommandé (cf. tableau 3), pour deux raisons : la principale est qu'il n'existe souvent pas d'autre alternative qu'une réappropriation du site par la nature, la seconde résulte de la prise de conscience de l'intérêt écologique global des carrières.

En pratique, pour faciliter et accélérer la renaturation, l'administration demande généralement que soient réalisés divers travaux de talutage et écrêtage des fronts, remblaiement de la fosse, régalage* des stériles et de la terre végétale, opérations destinées à un « reverdissement rapide » *mais qui ont souvent pour conséquence de faire disparaître une grande partie des spécificités biologiques et écologiques du site.*

On constate un décalage entre le principe et la réalité des remises en état écologiques. Les causes sont multiples : une certaine incohérence entre les dispositions réglementaires générales précédemment citées et les spécificités d'une valorisation écologique, une méconnaissance des habitats naturels et des biocénoses*, une conception standardisée de l'intégration paysagère et une confusion entre écologie et paysage.

À titre d'exemple, on peut citer un extrait d'une plaquette de la DRIRE* : « *Le réaménagement environnemental offre un grand intérêt écologique et pédagogique,* ***car il permet aux espèces de réintégrer leur écosystème* originel*** *tout en offrant au public des espaces de découverte de la faune et la flore dans leur milieu naturel* ». L'idée est généreuse mais en partie hors d'atteinte car on sait que les milieux naturels qui sont recréés sont souvent différents des milieux d'origine.

Dans l'Allier, le schéma des carrières préconise de « redonner une nouvelle vie au site ***qui ne doit pas devenir une friche*** *mais être réaffecté à un autre usage (agriculture, tourisme, loisir, nautisme, pêche,* ***écologie****…). ».* Une friche n'est donc pas considérée ici comme étant un milieu naturel.

A contrario, alors que bien des schémas départementaux des carrières ne traitent de la remise en état écologique que de façon succincte, celui du Finistère contient un véritable guide, en parfaite cohérence avec plusieurs des orientations du présent document (le texte encadré du tableau 3 reprend presque *in extenso* celui du schéma).

Tableau 3 Le schéma départemental des carrières du Finistère (1998)

REMISE EN ÉTAT DES CARRIERES DE ROCHES MASSIVES

Pour ces exploitations qui représentent la quasi-totalité des carrières du département, le retour à la vocation initiale des terrains est quasiment impossible. Sans exclure la possibilité de réaménager le site en zone de loisirs, zone industrielle, zone résidentielle..., l'orientation suivante est à privilégier : remise en état à vocation écologique (avec ou sans plan d'eau).

La visite, l'étude ou la connaissance de plusieurs exemples de carrières ayant cessé leur activité depuis plusieurs années dans le département ont montré que des carrières abandonnées peuvent, dans des conditions bien précises, devenir des écosystèmes écologiquement riches. On a pu remarquer, en effet, que l'exploitation a façonné des paysages originaux et qu'une recolonisation spontanée par la flore et la faune est réelle. Après quelques aménagements légers, on peut aider ce processus de reconstitution d'un écosystème spécifique au sein duquel les diverses espèces animales ou végétales voient leur population s'accroître.

Chaque site étant différent, il n'est pas possible d'envisager une recette standard. Il est donc souhaitable, pour les sites les plus importants, de mener en collaboration avec des spécialistes une réflexion et une étude préalable à chaque réaménagement. Cependant, on peut retenir quelques principes techniques généraux et quelques orientations à privilégier.

Principes techniques généraux

Certaines attitudes et mesures simples permettent de faciliter le processus de recolonisation :

- la remise en état doit être prévue dès la phase du projet. Plus l'étude de l'état initial sera fine, plus le projet de réaménagement sera facilité ;

- l'objectif recherché est de maximiser la diversité des habitats en mettant à profit les excavations, les fronts de taille, l'exposition, la pente, la granulométrie, l'épaisseur du sol, la rétention en eau d'un carreau argileux, les connexions avec les milieux environnants ;

- une concertation permanente et prolongée doit être engagée entre les administrations, les propriétaires, les municipalités, les associations de protection de la nature et les carriers ;

- d'une manière générale, on recherchera une réduction des travaux d'entretien.

Orientation à privilégier

<u>En ce qui concerne les falaises rocheuses</u>

Elles peuvent être des sites de nidification pour des oiseaux rupestres (le faucon crécerelle, le moyen duc, le grand corbeau...) si le site environnant est favorable. La carrière apporte cependant un rôle alimentaire faible. Il est préconisé de réaliser quelques vires et cavités permettant aux oiseaux d'établir leur nid.

<u>En ce qui concerne les falaises sableuses</u> (stériles)

L'hirondelle des rivages, le martin pêcheur (si la carrière est proche de l'eau), le guêpier, peuvent creuser des terriers de nidification dans des berges verticales.

Il est préconisé de réaliser des parois bien verticales, il suffit de quelques mètres de granulométrie particulière.

<u>En ce qui concerne les étendues de déblais de rocs ou de graviers</u>

Il est préconisé d'éviter le recours à la terre végétale et d'éviter même de hâter la revégétalisation. L'aménagement consiste surtout à les laisser en état. Ces sites peuvent accueillir une flore et une faune intéressantes.

<u>En ce qui concerne les merlons</u>

Il est préconisé, en général, de limiter la hauteur des merlons à celle des talus environnants afin de favoriser l'insertion paysagère.

<u>En ce qui concerne les plans d'eau</u>

Il est préconisé :

- la mise en place de fonds variés en hauteur et en texture,
- la création de hauts fonds qui seront localisés de préférence à l'abri des vents dominants (hauteur d'eau inférieure à 1 m au printemps),
- la création d'un maximum de linéaire de berges en pente douce (10° sur 2 m),
- la création de petits îlots constitués de graviers, de sable et/ou de terres végétales qui sont autant de zones de colonisations végétales, de repos, de nidification, de nourrissage... contribuant à l'accroissement d'une population diversifiée. La création de ces îlots, facilement réalisable en carrière alluvionnaire, est parfois possible pour les carrières de roches massives à partir de remblayages ponctuels avec des matériaux inertes.

<u>En ce qui concerne les petites dépressions</u>

Il est préconisé de conserver les conditions d'apparition de petites mares ou de dépression en eau permanente ou même semi-permanente qui contribuent à l'accueil des amphibiens figurant majoritairement sur la liste des espèces protégées en raison de leur raréfaction.

Compte tenu de l'expérience technique des carriers en matière de terrassements, la mise en place de ces préconisations est simple et peu coûteuse, mais ils prendront avantage à suivre les conseils d'un spécialiste du paysage ou d'un biologiste compétent en mesure de définir les travaux spécifiques à entreprendre.

Remise en état coordonnée et garanties financières

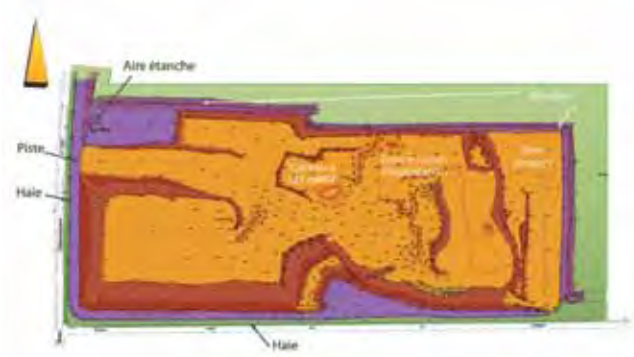
L'article 12 de la circulaire du 2 juillet 1996[4] relative à l'application de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 indique que « *sauf cas dûment justifiés par le dossier, la remise en état doit être coordonnée à l'exploitation du gisement* ».

Cette notion, en particulier si on lui applique des critères très restrictifs[5], est difficile à appliquer pour bon nombre de carrières de roches massives où une exploitation par « tranches » n'est pas envisageable (carrières en « dent creuse » en particulier).

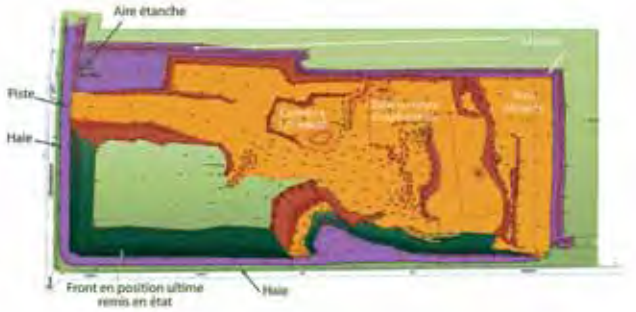
Sur les carrières **peu profondes**, les aménagements écologiques peuvent permettre une remise en état plus rapide de certaines zones et donc permettre de se rapprocher de la notion de remise en état coordonnée.

Figure 10 Remise en état cordonnée d'une carrière de calcaire de la Beauce

Cette carrière de calcaire d'Eure-et-Loir abrite un couple d'Oedicnèmes criards et constitue un site potentiel de reproduction du Crapaud calamite. Comme c'est généralement le cas en Beauce, elle devrait être remblayée pour reconstituer des terres agricoles. Une remise en état à vocation écologique, basée sur la création de pelouses calcicoles, l'aménagement de mares temporaires et de zones d'abris rocailleuses, aurait permis de sortir plus rapidement cette partie de la carrière du montant des garanties financières. Il aurait même pu être envisagé d'effectuer une déclaration de fin d'activité partielle sur cette zone qui, de ce fait, n'aurait plus été intégrée dans l'emprise autorisée de la carrière.



Plan des garanties financières dans le cas d'une remise en état **en terre agricole**. Tant que le remblayage de l'ensemble du fond de fosse n'est pas réalisé (stériles de découverte et terre végétale), le site n'est pas remis en état.



Plan des garanties financières dans le cas d'une remise en état **à vocation écologique** de la partie sud-ouest de la fosse, coordonnée à l'avancée de l'exploitation. La flèche indique la localisation de la prise de vue.

[4] *Circulaire non publiée au journal officiel.*

[5] *La remise en état peut être considérée comme coordonnée si l'exploitation de la phase N+2 ne démarre que lorsque la phase N est remise en état et/ou lorsque la surface dérangée (découverte ou en chantier) est homogène (la surface en chantier par phase quinquennale ne doit pas dépasser la valeur obtenue par la formule (surface autorisée / durée d'autorisation x 5).*

Pérennité des aménagements

La question de la pérennité des aménagements écologiques réalisés se pose à différents stades de la vie de la carrière.

- **Durant l'activité**, la réalisation de zones d'accueil de la flore et de la faune implique nécessairement la destruction d'une partie des populations lors de la reprise d'activité sur ces zones, populations qui peuvent contenir des espèces protégées (cf. § 2.4.2).

La notion du caractère *temporaire et évolutif* des milieux naturels de carrières est difficile à faire accepter dans le contexte actuel d'une conception statique de la protection des milieux naturels et d'une protection établie au niveau des individus (cf.§ 2.4.2). En carrière, il est nécessaire de raisonner en termes de populations (ou d'habitats favorables) et non d'individus.

La dynamique des populations au sein d'une carrière est comparable à celle d'un milieu naturel comme une forêt vierge : au sein de la forêt, des perturbations naturelles (incendies, tempêtes, inondations...) créent des trouées qui vont connaître une succession de stades et donc de peuplements différents jusqu'à la reconstitution du boisement. C'est la juxtaposition des trouées dans le temps et dans l'espace qui permet aux différents peuplements de maintenir des effectifs viables.

Au sein d'une carrière, les perturbations sont d'origine anthropique mais induisent une dynamique similaire au sein des populations d'espèces spécialisées qui l'ont colonisée.

- **Au moment de la cessation d'activité**, le procès-verbal de récolement* établit la bonne exécution des travaux de remise en état et permet la levée des garanties financières. Toutefois, après obtention de ce procès-verbal de récolement*, l'exploitant reste responsable administrativement et civilement, notamment en cas d'incident mettant en cause la sécurité publique (éboulement...) ou de pollution.

  La notion de **vocation ultérieure** (ou d'usage futur) du site apparaît à l'article 12.2 de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 modifié ainsi qu'aux articles R.512-74 à R.512-76 du code de l'environnement. La question de la pérennité des milieux naturels se pose à plusieurs niveaux :

  1. une fois l'autorisation d'exploiter échue, c'est au propriétaire des terrains d'assumer la charge du suivi et de la gestion des milieux. Mais il n'existe aucune obligation à ce niveau ;

  2. la vocation ultérieure, définie suivant les critères et avec les informations disponibles au moment de l'élaboration du projet, peut être modifiée après arrêt de l'exploitation (revente des terrains par le propriétaire, évolution des besoins dans le temps...). Il n'existe aucune garantie juridique quant au maintien de la vocation d'un site. Ce cas de figure est prévu par la réglementation (article R.512-78).

La pérennité des habitats naturels créés dépend donc de la maîtrise foncière.

Prise en compte dans les documents d'urbanisme et schémas d'orientation

- **Le plan local d'urbanisme** (PLU), inscrit dans la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain (Loi SRU du 13 décembre 2000), a succédé au plan d'occupation des sols (POS) issu de la Loi d'orientation foncière (LOF) de 1967.

  Dans les deux cas, la compatibilité d'une remise en état écologique avec le règlement du **document d'urbanisme** doit être vérifiée. En effet, ce règlement peut fixer des conditions d'implantation rendant difficiles une remise en état écologique ou des prescriptions en matière d'occupation ultérieure du site.

Extraits de règlements de POS et de PLU

- Zone IINCc : *« zone naturelle où la possibilité d'exploiter des carrières doit être préservée. L'exploitation des terrains doit y être menée de telle sorte qu'à son terme les terrains exploités sont remis en culture ou aménagés à des fins de loisirs en plein air ».*

- Zone 1 AULa : *« zone correspondant spécifiquement à la carrière X, secteur destiné principalement aux équipements collectifs, aux activités de loisirs, de sport et de tourisme, et à l'habitat permanent ».*

- Secteur Ac, occupations du sol admises : *« exploitation de carrières ou gravières sous les conditions suivantes :*

  - *le régalage* du sol après remblayage partiel ou total avec les déblais de l'exploitation et les terres de découverte,*
  - *la rectification du front d'exploitation,*
  - *le maintien ou la création de rideaux de végétation et le reboisement ».*

La pérennité des habitats naturels créés dépend donc également des documents d'urbanisme.

- Dans le même esprit, il faut également tenir compte des orientations du **schéma départemental des carrières** dans le domaine du réaménagement des sites.

La pérennité des habitats naturels créés dépend donc enfin des schémas départementaux des carrières.

2.4.2 Les espèces protégées

Les carrières en activité et inexploitées sont colonisées par des espèces animales et végétales qui bénéficient, pour certaines, d'un statut de protection réglementaire, au niveau national, régional ou départemental.

Les listes d'espèces protégées sont publiées au journal officiel de la république française. Elles sont consultables sur le site Internet de **l'Inventaire national du patrimoine naturel** (INPN : http://inpn.mnhn.fr/isb/index.jsp), onglet « Conservation », puis « Réglementation ».

Il est possible également, au niveau de la page d'accueil, de taper le nom d'une espèce pour savoir si elle est protégée dans le département de localisation de la carrière, à condition de connaître précisément son nom vernaculaire* (nom français) ou son nom scientifique (nom latin).

Ce dispositif juridique repose sur les articles L411-1 et 2 du code de l'environnement. L'étendue de la protection est précisée dans l'article L411-1 :

« Lorsqu'un intérêt scientifique particulier ou que les nécessités de la préservation du patrimoine biologique justifient la conservation d'espèces animales non domestiques ou végétales non cultivées, sont interdits :

*1° la destruction ou l'enlèvement des œufs ou des nids, la mutilation, la destruction, la capture ou l'enlèvement, **la perturbation intentionnelle**, la naturalisation d'animaux de ces espèces ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur détention, leur mise en vente, leur vente ou leur achat ;*

2° la destruction, la coupe, la mutilation, l'arrachage, la cueillette ou l'enlèvement de végétaux de ces espèces, de leurs fructifications ou de toute autre forme prise par ces espèces au cours de leur cycle biologique, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur mise en vente, leur vente ou leur achat, la détention de spécimens prélevés dans le milieu naturel ;

*3° **la destruction, l'altération ou la dégradation du milieu particulier** à ces espèces animales ou végétales ».*

La loi du 5 janvier 2006 introduit dans *l'article L.411-2* la possibilité de « *La délivrance de dérogation aux interdictions mentionnées aux 1°, 2° et 3° de l'article L.411-1, à condition qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante et que* ***la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle*** ».

La mise en conformité des textes de protection (arrêtés ministériels parus en 2007 pour les amphibiens et les reptiles, en 2009 pour les oiseaux) avec les directives européennes (directives Oiseaux et Habitats) a notamment eu pour conséquences :

- l'ajout de la perturbation intentionnelle,
- la protection des sites de reproduction et des aires de repos dans les zones de présence de l'espèce,
- le raisonnement à l'échelle de la population et non plus du seul individu pour caractériser les dérogations possibles.

Il y a cependant différents niveaux de protection : pour certaines espèces animales, la destruction, l'altération ou la dégradation de leur milieu particulier ne sont pas interdits (espèces de l'article 3 des arrêtés du 23 avril 2007 sur les mollusques et les insectes et du 19 novembre 2007 sur les amphibiens et les reptiles, correspondant aux espèces non citées à l'annexe IV de la directive Habitats). Concernant la flore, il faut noter que le niveau de protection est le même entre l'arrêté de protection nationale et les arrêtés régionaux.

Le statut de protection des espèces s'applique dans toutes les situations, sur tout le territoire et pour tous les citoyens, à l'exception de la profession agricole qui bénéficie d'une autorisation permanente de destruction d'espèces végétales protégées sur les parcelles cultivées, comme précisé dans l'article 1er des arrêtés : « *Toutefois, les interdictions de destruction, de coupe, de mutilation et d'arrachage ne sont pas applicables aux opérations d'exploitation courante des fonds ruraux sur les parcelles habituellement cultivées* ».

Les exploitants de carrières se trouvent dans une situation particulière par rapport à la loi puisqu'ils gèrent des sites sur lesquels vivent des populations d'espèces protégées qui perdurent du fait du maintien de l'activité mais qui sont néanmoins susceptibles d'être en partie détruites lors des travaux habituels d'exploitation.

À titre d'exemple, la totalité des amphibiens français sont protégés (arrêté du 19 novembre 2007). Les inventaires menés en 2005 sur un échantillon de 35 carrières de roches massives pour moitié en activité (ENCEM, 2008) ont permis de recenser 4,2 espèces en moyenne par site sur 95 % de l'échantillon, avec un maximum de onze espèces sur un même site. On constate donc que toutes les carrières ou presque sont probablement concernées par la destruction d'amphibiens protégés, à au moins un stade de leur développement, sans que cela affecte pour autant les populations en place. Et ce constat s'applique à tous les groupes biologiques.

Cette évolution des textes réglementaires est source de contraintes qui ne constituent pas une incitation à favoriser la biodiversité sur les carrières, notamment dans le cadre d'une gestion et d'aménagements écologiques. Ces derniers sont en effet susceptibles de bloquer l'exploitation de sites en activité du fait de leur colonisation par des espèces protégées.

Sans un aménagement des textes pour les carrières, le risque est grand de voir prochainement chaque demande de renouvellement d'autorisation au titre des installations classées être accompagnée d'une demande de dérogation, ne serait-ce que pour le Lézard des murailles qui est présent sur la majorité des carrières françaises (71 % ; ENCEM, 2008).

L'arrêté du 19 février 2007 fixe les conditions de demande et d'instruction des dérogations portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées. La demande est adressée au préfet en trois exemplaires minimum et instruite par la DREAL *qui consulte un ou plusieurs experts. Accompagnée de l'avis de la DREAL et des experts consultés, la demande est ensuite transmise au ministère chargé de l'Environnement pour consultation du Conseil national de protection de la nature (CNPN). Celui-ci s'appuie sur l'avis d'un expert pour les études scientifiques ou les dossiers d'importance mineure. Pour les demandes liées à des programmes importants ou à des aménagements, le CNPN statue au sein de commissions qui se réunissent environ trois fois par an. Le délai d'instruction est compris entre six mois et un an quand le CNPN donne un avis favorable. Il peut être prolongé de plusieurs mois, voire plusieurs années en cas d'avis défavorable qui nécessite une reprise du dossier de demande, ce qui peut menacer la pérennité de l'exploitation.

Deux conditions sont incontournables pour l'octroi d'une dérogation :

1. **prouver qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante**. Le demandeur doit démontrer qu'il a recherché ou mis en œuvre tous les moyens possibles pour éviter de solliciter une dérogation ;

2. **montrer que la dérogation ne nuit pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle**. Le respect de cette condition implique que le demandeur démontre qu'il a fait effectuer une étude d'impact écologique. Cette étude doit recenser les espèces bénéficiant de mesures de protection, les effectifs des populations sur les lieux de l'activité et à proximité immédiate, l'effet de l'activité sur ces populations et les populations voisines (coupure des flux entre populations, isolement des populations).

   La capacité des populations de la ou des espèces considérées à supporter les prélèvements proposés est déterminante. Le statut de ces espèces sur le plan juridique (directives européennes, listes nationales ou régionales...) et leur degré de rareté et de menace aux différents échelons géographiques doivent être précisés. Il convient également de présenter les mesures réductrices d'impact proposées, les mesures de transfert et les mesures d'accompagnement.

2.4.3 L'échardonnage

Le Chardon des champs *(Cirsium arvense)* figure dans la liste des organismes nuisibles contre lesquels la lutte peut être rendue obligatoire dans certaines conditions (annexe B de l'arrêté ministériel du 31 juillet 2000). Mais la lutte contre les chardons peut avoir des effets négatifs sur la faune et la flore.

Ce sont les préfets, selon les recommandations du Service régional de la protection des végétaux, qui établissent des arrêtés départementaux si besoin. Une fois l'arrêté préfectoral établi, les communes peuvent prendre des arrêtés municipaux rendant l'échardonnage obligatoire sur leur territoire. Elles doivent alors en faire la déclaration à la direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt - S.R.P.V. Si aucune réponse contraire n'est adressée dans les 15 jours qui suivent, l'arrêté est pris au niveau communal. En vertu de ses pouvoirs de police, le maire peut faire procéder à la destruction des chardons aux frais du propriétaire. Celui-ci est en outre passible de sanctions prévues par l'article 363 du code rural (contraventions de 5e classe).

Cette obligation incite parfois les exploitants de carrière à faucher les remblais et merlons de façon très précoce (courant mai) ou à les traiter chimiquement, parfois de manière systématique, ce qui est bien sûr défavorable à la faune et à la flore qui colonisent ces milieux prairiaux.

Figure 11 Fauche précoce pour échardonnage

Ce vaste remblai d'une carrière calcaire de la Mayenne est fauché systématiquement dès le mois de mai pour répondre aux prescriptions de l'arrêté d'échardonnage qui demande que les chardons soient coupés avant leur floraison (indiquée dans l'arrêté entre juin et septembre).

Le chardon ne fleurissant pas avant la fin juillet sur la commune, une fauche plus tardive (début juillet) favoriserait le développement d'une flore et surtout d'une faune plus diversifiée.

Par ailleurs, seule l'espèce *Cirsium arvense* est concernée par l'échardonnage alors qu'il existe de nombreux « chardons » de physionomie comparable qui risquent d'être confondus avec elle. C'est le cas par exemple de *Cirsium tuberosum*, protégé en Basse-Normandie et Limousin, et de plantes plus communes comme le Cirse commun (*Cirsium vulgare*), le Cirse des marais (*Cirsium palustre*), le Chardon à capitules grêles (*Carduus tenuiflorus*), etc. Il convient donc de s'assurer que les chardons présents sur la carrière sont bien l'espèce *Cirsium arvense*, en demandant l'avis d'une personne connaissant la plante ou en l'identifiant à l'aide de photographies et descriptions disponibles sur Internet.

Figure 12 Le Cirse des champs

Description de la plantule : feuilles simples, profondément échancrées

Description de la plante adulte :
- hauteur : 50 à 100 cm ;
- tige dressée, ramifiée dans sa partie supérieure au niveau de la partie reproductive, **non ailée et presque glabre ;**
- feuilles inférieures disposées en rosette, elliptiques, sans pétiole, à limbe épineux et couvert à la face inférieure d'une pilosité blanchâtre et, à la face supérieure verte, d'une pilosité peu dense. Feuilles de la tige dentées, oblongues, pennatifides à pennatipartites ; à bords ciliés très épineux s'inscrivant dans un contour lancéolé ; pilosité identique à celle des premières feuilles ;
- fleurs purpurines disposées en corymbe de capitules. Floraison en capitules unisexués (plante presque toujours dioïque). Involucre plus ou moins ovoïde, glabre ;
- fruits : akènes plumeux disséminés par le vent.

Floraison : le Cirse des champs fleurit et fructifie pendant l'été, surtout de la fin juillet à la fin septembre, sur une grande partie du territoire national.

Écologie : le Cirse des champs est une plante **nitrophile***, qui se développe dans les sols riches en éléments nutritifs, et notamment les **sols profonds**, sans excès d'eau. Il recherche la lumière. Bien que vivace, c'est donc une plante caractéristique des terres cultivées, notamment si elles sont en jachère. Son aire de répartition s'étend sur toute l'Europe jusqu'à l'Asie.

Sur les carrières, le Cirse des champs n'est potentiellement présent que sur les milieux riches en terre végétale : merlons et stocks de terre végétale, remblais régalés de terre végétale. Il est absent sur les sols minéraux tassés (carreau, piste) et rare sur les sols minéraux peu tassés (remblais de matériaux stériles).

Si la présence de l'espèce est avérée sur la carrière et si la commune concernée a publié *pour l'année en cours* un arrêté municipal d'échardonnage, il convient de faucher ou de désherber les secteurs ou l'espèce est présente. Une fauche est préférable à un désherbage chimique. Dans la mesure où l'espèce ne fleurit généralement qu'en cours d'été, **la fauche peut être réalisée tardivement**, c'est-à-dire à partir du début du mois de juillet.

Si le Cirse est localement abondant et vigoureux, il peut être nécessaire d'épuiser les peuplements en pratiquant des fauches répétées durant une même saison, dès le début du mois de mai, **en se limitant aux zones abritant les principaux peuplements.**

2.4.4 Politiques publiques et biodiversité des carrières

A la suite du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, la prise en compte de la biodiversité par les pouvoirs publics français a fortement évolué et s'est traduite par la mise en place de plusieurs programmes et projets de lois qui concernent pour partie les exploitants de carrières.

La Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB)

L'objectif principal de la SNB adoptée en France en 2004 (à la suite du Sommet du développement durable de Johannesburg en 2002) était de stopper la perte de biodiversité d'ici à 2010. Pour atteindre cet objectif ambitieux, il faut définir dans chaque secteur d'activité des modes d'action favorables à la conservation de la biodiversité et à la réduction des impacts négatifs sur celle-ci. Quatre orientations guident la réalisation des objectifs :

1. **développer une approche participative et active**. Tous les acteurs doivent être mobilisés à leur niveau de responsabilité ;
2. **reconnaître la valeur des services rendus par la biodiversité** en termes de coût économique ;
3. **intégrer la conservation de la biodiversité dans l'ensemble des politiques publiques** ;
4. **accroître la connaissance scientifique sur l'évolution de la biodiversité**.

Depuis novembre 2005, onze plans d'actions sectoriels ont été mis en œuvre (Agriculture, Infrastructures de transports, International, Mer, Patrimoine naturel, Territoires et Urbanisme, Forêts, Outre-mer, Recherche et Tourisme). Des éléments nouveaux ont été intégrés dans ces plans en 2008 et 2009, en particulier les engagements issus du Grenelle de l'environnement sur la biodiversité.

La Trame verte et bleue (TVB)

La notion scientifique de **réseau écologique** a été reprise en 2007 sous l'intitulé de **Trame verte et bleue** par le Grenelle de l'environnement dont elle constitue l'un des axes majeurs.

Le but de la mise en place de la Trame verte et bleue est de stopper l'érosion de la biodiversité (en cohérence donc avec la SNB) en recréant des relations fonctionnelles entre les noyaux de biodiversité qui, si riches soient-ils, tendent à s'altérer du fait de leur isolement.

Pour un milieu donné, un réseau écologique est constitué de deux composantes principales : les réservoirs de biodiversité et les corridors qui permettent les échanges entre ces réservoirs (cf. § 4.3).

La trame bleue est constituée de cours d'eau et de zones humides. La trame verte correspond aux milieux terrestres.

Les réservoirs de biodiversité sont déjà en grande partie connus et partiellement protégés (sites Natura 2000, ZNIEFF*, parcs nationaux, réserves naturelles, réserves de pêche et de chasse, Espaces naturels sensibles des départements, massifs forestiers, marais, etc.). Les corridors (cours d'eau, vallées, fossés, haies, boisements, bermes* de routes, prairies naturelles, friches...) sont également connus mais sont peu pris en compte.

La responsabilité environnementale

Un décret du 23 avril 2009 précise les conditions d'application de la loi du 1er août 2008 transposant en droit français la directive européenne du 21 avril 2004 modifiée relative à la prévention et à la réparation des dommages environnementaux.

La responsabilité environnementale vise à prévenir la menace imminente de dommage ou à réparer les dommages causés à l'environnement. Les dommages sont constitués par les détériorations directes et indirectes mesurables de l'environnement qui :

1° créent un risque d'atteinte grave à la santé humaine du fait de la contamination des sols résultant de l'introduction directe ou indirecte, en surface ou dans le sol, de substances, préparations, organismes ou micro-organismes ;

2° affectent gravement l'état écologique, chimique ou quantitatif ou le potentiel écologique des eaux, à l'exception des cas prévus au VII de l'article L. 212-1 ;

3° affectent gravement le maintien ou le rétablissement dans un état de conservation favorable :

a) des espèces visées au 2 de l'article 4, à l'annexe I de la directive 2009/147/CE du Conseil, du 2 avril 1979, concernant la conservation des oiseaux sauvages et aux annexes II et IV de la directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages ;

b) des habitats des espèces visées au 2 de l'article 4, à l'annexe I de la directive 2009/147/CE du Conseil, du 2 avril 1979, précitée et à l'annexe II de la directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, précitée ainsi que des habitats naturels énumérés à l'annexe I de la même directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992 ;

c) des sites de reproduction et des aires de repos des espèces énumérées à l'annexe IV de la directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, précitée ;

4° affectent les services écologiques, c'est-à-dire les fonctions assurées par les sols, les eaux et les espèces et habitats mentionnés au 3° au bénéfice d'une de ces ressources naturelles ou au bénéfice du public, à l'exclusion des services rendus au public par des aménagements réalisés par l'exploitant ou le propriétaire.

3 - L'organisation de la gestion au quotidien et des aménagements

> *Introduction*

> *Les étapes de l'organisation de la gestion et des aménagements*

> *Plan de gestion, plan d'aménagement et suivi écologique*

3 - L'organisation de la gestion au quotidien et des aménagements

3.1 Introduction

Comme pour les opérations de gestion et d'aménagement, nous proposons une approche simple et pragmatique de l'organisation de ces opérations. Il s'agit cependant d'un sujet qui peut paraître complexe par ses aspects techniques. Les différentes approches développées dans ce chapitre et les liens qui les unissent peuvent être résumés de la façon suivante :

- **les principales étapes** de la mise en place de l'organisation sont d'abord l'étude d'impact (et donc l'arrêté préfectoral d'autorisation), puis l'exploitation ;
- durant l'exploitation, **le niveau d'intervention écologique** au sein de la carrière peut être très variable : nul, léger ou fort. Le choix du niveau d'intervention (et donc du niveau d'organisation) dépend surtout des contraintes imposées par la sensibilité des milieux naturels en périphérie de la carrière (sensibilité évaluée par l'étude d'impact) ;
- la définition, la planification et la réalisation des opérations de gestion au quotidien et des travaux d'aménagement peuvent être réalisées soit **en interne** (personnel de la carrière), soit avec **l'assistance d'une structure externe** (bureau d'études, association...), soit encore en mixant les deux types d'intervenants. Le choix du type d'intervenant est généralement en relation avec le niveau d'intervention choisi ;
- un **suivi écologique** de la carrière est souvent associé aux opérations de gestion et aux aménagements, pour pouvoir évaluer leur pertinence. Ce suivi, s'il est généralement réalisé par un ou plusieurs naturalistes, peut être confié au personnel de la carrière dans les cas simples (suivi portant sur un nombre limité d'espèces faciles à identifier). Dans tous les cas, il nécessite d'être organisé (fréquence, choix des groupes biologiques...).

3.2 Les étapes de l'organisation de la gestion et des aménagements

On peut distinguer trois principales étapes dans l'organisation de la gestion et de la remise en état.

1ère étape : l'étude d'impact

L'étude d'impact réalisée dans le cadre d'une demande d'ouverture de carrière ou, plus généralement, à l'occasion d'une demande d'extension ou de renouvellement d'autorisation, constitue le point de départ de l'organisation de la remise en état et souvent celle de la gestion.

- Elle dresse un état initial de la faune, de la flore et des habitats naturels présents sur les terrains demandés en extension et, de plus en plus souvent, sur la carrière, parfois en s'appuyant sur des données bibliographiques.

  Ces données, et celles des zonages biologiques éventuels, permettent d'évaluer les enjeux biologiques et écologiques auxquels le projet doit faire face, et les réponses que l'ont peut proposer en termes de mesures de protection, de réduction d'impact et de niveau d'intervention écologique (mesures compensatoires).

- Elle bâtit le projet de remise en état qui sera intégré dans l'arrêté préfectoral d'autorisation, sur la base des diagnostics établis et des caractéristiques physiques du projet, en concertation éventuellement avec les structures publiques et privées concernées (administrations, collectivités territoriales, conservatoires botaniques, CREN*, associations...).

Il s'agit donc d'une étape importante, dont dépendent directement les étapes suivantes. Dans l'état actuel de la réglementation (cf. § 2.4.1), le projet de remise en état est défini par l'arrêté préfectoral d'autorisation, soit bien des années et souvent des décennies avant la mise en place de la plus grande partie des aménagements. Si la planification dans le temps des grandes orientations de la remise en état est souvent indispensable, il est néanmoins important d'éviter une trop grande précision dans la définition de l'état final et même de se limiter à des principes qui laisseront à l'exploitant des marges de manœuvre suffisantes pour adapter le projet au futur contexte.

Pour les projets de remise en état les plus complexes, un suivi naturaliste en cours d'exploitation s'avérera souvent indispensable pour adapter les aménagements aux caractéristiques physiques et biologiques du site. Si ces derniers sont trop éloignés du projet initial de remise en état, un arrêté de modification des conditions de remise en état pourra être nécessaire.

Dans le dossier de demande, les opérations de gestion au quotidien et d'aménagements écologiques peuvent être proposées comme mesures compensatoires.

2e étape : la phase d'exploitation

Durant la phase d'exploitation sont mis en place les aménagements à vocation écologique prévus (ou non) dans le cadre du projet de remise en état, par phase quinquennale pour ce qui concerne les opérations coordonnées à l'avancée de l'exploitation.

Une gestion écologique au quotidien peut également être mise en place, ainsi qu'un suivi régulier de tout ou partie des peuplements animaux et végétaux de la carrière et des terrains périphériques.

> Ces trois types d'intervention (aménagements, gestion au quotidien et suivi des biocénoses*) sont étroitement liés : la gestion et le suivi permettent de mieux comprendre le fonctionnement de la carrière et donc d'optimiser les aménagements (temporaires ou définitifs) qui feront eux-mêmes l'objet d'une gestion et d'un suivi permettant d'améliorer les aménagements à venir.
>
> Pour que ce processus soit véritablement efficace, chaque action (relevé, décision, travaux...) doit faire l'objet d'une note technique, rapide mais précise, remise à l'exploitant. L'ensemble des notes regroupées dans un rapport annuel constituera la mémoire de la gestion et des aménagements du site, pour les gestionnaires en place et pour ceux à venir.

L'organisation de la gestion au quotidien, des aménagements et du suivi écologique est décrite dans les chapitres qui suivent.

3e étape : les terrains remis en état

Les terrains remis en état au fur et à mesure de l'avancée de l'exploitation et sortis du périmètre autorisé au titre des ICPE* peuvent continuer de faire l'objet d'une gestion écologique planifiée, dans la continuité de celle initiée durant la phase d'exploitation. La connaissance des caractéristiques physiques des substrats* utilisés et des modalités de leur mise en œuvre, si ces données ont bien été transcrites dans un rapport, permettra au nouveau gestionnaire de mieux comprendre l'évolution des biocénoses et des habitats.

3.3 Différents niveaux d'intervention

Une carrière en activité peut faire l'objet de différents types d'interventions à caractère écologique. Comme pour un milieu naturel, il peut s'agir d'une gestion des peuplements animaux et végétaux qui l'ont colonisée (surveillance de la faune rupestre, entretien de la végétation, gestion des niveaux d'eau...). Elle peut en outre faire l'objet d'aménagements à vocation écologique, soit temporaires (quelques années ou dizaines d'années...), soit définitifs dans le cadre de la remise en état (cf. figure 1 en introduction).

Schématiquement, trois niveaux d'intervention sont observables aujourd'hui sur les carrières de roches massives. Chaque niveau peut concerner tout ou partie de la carrière, durant tout ou partie de la durée d'autorisation, et les trois niveaux peuvent se juxtaposer dans le temps et dans l'espace sur un même site.

Niveau 0 : aucune intervention à vocation spécifiquement écologique

Même dans le cadre d'un projet de remise en état ayant pour objectif principal un « retour à la nature », l'absence totale ou partielle d'intervention écologique peut se justifier dans plusieurs situations :

- **choix délibéré** : une carrière peut constituer un véritable espace de liberté pour la nature, dans un environnement où la quasi-totalité des milieux subissent une pression anthropique* plus ou moins forte (agricole, forestière, cynégétique, écologique, de loisirs...). Un espace évoluant de façon totalement spontanée, sans gestion et aménagement particulier, peut constituer par ailleurs un témoin intéressant sur le plan scientifique, permettant en outre des comparaisons avec les milieux aménagés (une intervention minimale de suivi est alors nécessaire). Rappelons que de nombreux milieux étudiés dans le cadre du programme d'études (ENCEM, 2008) se sont révélés très intéressants alors qu'ils n'avaient fait l'objet d'aucune intervention ;
- **en fonction des contraintes du site** : dans les carrières de roches éruptives et une partie des carrières de roches calcaires, les fosses d'extraction en « dent creuse » sont totalement ou partiellement ennoyées après arrêt de l'activité, ce qui peut limiter les possibilités d'aménagements écologiques. Par ailleurs, certains secteurs sont quasiment inaccessibles (front de taille notamment) ;
- **en fonction des enjeux écologiques locaux** : si les enjeux sont faibles (absence de ZNIEFF de type 1, de site Natura 2000, d'espèce ou de milieu naturel sensible), l'exploitant n'est pas tenu *a priori* de compenser l'impact de la carrière par des aménagements à vocation écologique.

Niveau 1 : intervention écologique légère

Ce niveau intermédiaire est adapté à des enjeux écologiques locaux faibles ou « faibles à moyens » (zone agricole au sein d'une région possédant un bon niveau de naturalité ou ZNIEFF* de type 2 au contact du projet, par exemple).

Il correspond à des opérations de remise en état et de gestion prises en charge essentiellement par l'exploitant, éventuellement avec l'assistance ponctuelle d'une personne qualifiée en écologie, sur la base du projet de remise en état du dossier d'étude d'impact. Il s'agit d'aménagements réalisés le plus souvent avec le simple objectif de favoriser la biodiversité, surtout dans le cadre d'une remise en état de type « retour à la nature ».

Un suivi écologique des aménagements peut être réalisé de façon épisodique, dans le cadre des dossiers de demande d'extension par exemple.

Niveau 2 : intervention écologique forte

Ce niveau d'intervention correspond le plus souvent à une nécessité de mise en place de mesures compensatoires, face à des enjeux écologiques de niveaux moyen ou fort (présence d'espèces ou de milieux sensibles).

Il implique généralement de travailler en partenariat avec des experts en écologie (bureau d'études, association naturaliste, CREN*...) qui vont d'abord définir les aménagements dans le cadre du dossier d'étude d'impact puis assister l'exploitant dans leur réalisation et enfin suivre leur évolution pour mettre en place une gestion adaptée et améliorer les futurs aménagements. Les objectifs des aménagements sont souvent assez précis (favoriser ou maintenir un groupe d'espèces ou une seule espèce, un habitat particulier...), toujours dans le cadre d'une remise en état de type « retour à la nature ».

3.4 Plan de gestion, plan d'aménagement et suivi écologique

3.4.1 *L'organisation de la gestion écologique au quotidien : le plan de gestion*

Les préconisations de gestion écologique de la carrière en activité sont présentées de manière spécifique pour chaque secteur d'exploitation dans les fiches du chapitre 5, avec des renvois vers le chapitre 4, notamment pour l'entretien de la végétation.

Le tableau 4 fait le bilan des opérations de gestion proposées, en les regroupant par type.

Tableau 4 Bilan des opérations de gestion proposées par secteur d'exploitation

Type de gestion	Secteur d'exploitation	Gestion proposée
Conservation (mise à l'abri)	Zones décapées	Conserver des zones décapées inexploitées
	Fronts de taille	Conserver des fronts inexploités favorables aux oiseaux rupestres
	Éboulis et blocs rocheux	Conserver les éboulis anciens
	Carreaux et mares temporaires	Conserver des secteurs de carreaux à l'écart de l'activité
	Bassins permanents	Conserver les bassins riches en végétation Ne pas les empoissonner
	Bassin de décantation	Ne pas empoissonner les bassins
Surveillance et planification de l'exploitation	Fronts de taille	Assurer une surveillance des fronts susceptibles d'accueillir certains oiseaux rupestres et agir en conséquence
	Dépôts et zones de matériaux fins	Assurer une surveillance et agir en conséquence
Planification de l'entretien (hors végétation)	Remblais de stériles	Alimenter en stériles si possible hors période de reproduction de la faune
	Zones décapées et à décaper	Intervenir si possible hors période de reproduction de la faune
	Bassins de décantation	Curer si possible hors période de reproduction de la faune
Entretien de la végétation (avec des modalités et en périodes favorables)	Zones décapées	Limiter le développement des fourrés
	Remblais de stériles	Conserver une mosaïque d'habitats ouverts, semi-ouverts et fermés. Favoriser un de ces types d'habitat
	Merlons de terre végétale	Conserver une mosaïque d'habitats ouverts, semi-ouverts et fermés. Conserver des friches de plantes annuelles
	Front de taille	Limiter le développement des arbres et arbustes en pied de front
	Dépôts et zones de matériaux fins	Rajeunir les dépôts envahis de végétation
	Carreaux et mares temporaires	Limiter la fermeture du carreau et l'atterrissement des mares
Gestion du niveau d'eau	Bassins permanents	Placer la zone de marnage au niveau d'une berge en pente douce. Éviter l'assèchement des bassins.
	Plan d'eau de fosse	Placer la zone de marnage au niveau d'une banquette

La gestion est du ressort de l'exploitant, qui peut se faire conseiller par un expert pour sa mise en œuvre et son suivi. ***Elle dépend uniquement des opportunités qui se présentent au niveau des différents secteurs d'exploitation***. De ce fait, parmi les opérations proposées, seule une petite partie sera éventuellement applicable sur un site donné. Deux approches sont envisageables en fonction de l'intervenant :

1. **Gestion en interne** : l'exploitant gère seul son site, sur la base notamment des préconisations de ce guide. Un minimum d'esprit d'observation et d'esprit pratique peut s'avérer suffisant pour mener une gestion simple et efficace sur la plupart des secteurs d'exploitation, et même améliorer la gestion mise en place. Les compétences du personnel, parfois constitué d'agriculteurs ou de chasseurs, peuvent être utilisées (cf. § 3.4.4). Ce type de gestion correspond plutôt au niveau 1 d'intervention décrit au § 3.3.

2. **Gestion assistée par un expert en écologie** : il peut être utile d'organiser la gestion en s'inspirant de la méthodologie utilisée dans l'élaboration des plans de gestion de milieux naturels, en la simplifiant de la façon suivante :

    - **établir un état initial** de la faune et de la flore du milieu à gérer, par l'inventaire de quelques groupes biologiques (par exemple, flore vasculaire et oiseaux sur un remblai, ou amphibiens et odonates* sur un bassin). Dans certains cas, l'inventaire peut être limité à une seule espèce (oiseau rupestre*) ou à un groupe d'espèces (flore commensale* des terres cultivées). Certains groupes biologiques difficiles à inventorier (hyménoptères* par exemple) peuvent nécessiter l'aide occasionnelle d'un spécialiste ;
    - **fixer des objectifs de gestion**. Ils seront généralement simples, parfois évidents : mener la nidification d'un oiseau rupestre* à son terme (envol des jeunes), conserver ou augmenter la biodiversité globale (nombre d'espèces) d'un milieu entretenu (remblai, merlon...) ou mis à l'écart de l'activité (front, secteur de carreau...), augmenter la population de Crapaud calamite d'un secteur de carreau humide de la carrière... ;
    - **définir les modalités des opérations de gestion** : technique et matériel utilisés, période d'intervention, mesures de protection... ;
    - **évaluer la gestion** par de nouveaux inventaires portant sur les groupes biologiques ou les espèces ayant fait l'objet de l'état initial, qui permettront de voir si l'objectif a été totalement ou partiellement atteint ;
    - **corriger éventuellement les modalités des opérations de gestion.**

    Une planification dans le temps et dans l'espace peut compléter utilement ce plan de gestion. Elle doit permettre de savoir qui fait quoi, et où, durant une période donnée (phase quinquennale par exemple) : dates prévisibles des inventaires biologiques (année et période de l'année) et secteurs de la carrière inventoriés, date prévisible des opérations de gestion et secteurs concernés...

    Ce type de gestion s'applique surtout aux interventions de niveau 2 (cf. § 3.3).

Que la gestion soit interne ou assistée, toutes les informations collectées doivent être regroupées dans un rapport qui constituera le **plan de gestion**. Elles peuvent se limiter à des données brutes (listes d'espèces, définition des objectifs, localisation, date et description des interventions...) mais suffisamment précises et complètes pour que la mémoire de la gestion soit conservée pour les futurs gestionnaires du site.

3.4.2 L'organisation des aménagements écologiques : le plan d'aménagement

Les aménagements à vocation écologique sont également présentés par secteur d'exploitation (chapitre 5).

Il s'agit le plus souvent de travaux de **terrassement** au sens large, soit par déblaiement (creusement de mares ou de bassins sur les carreaux ou les remblais, mise à nu de la roche sur les carreaux, décapage de terrains périphériques), soit par remblaiement à l'aide de **matériaux stériles** pour constituer un sol meuble (création de prairies, de boisements sur carreau) et dont la topographie est modulable (remblaiement partiel de banquettes, de bassins permanents et de fosses pour la création de zones humides). Quelques travaux de terrassement concernent des blocs rocheux ou des matériaux fins.

Une partie des travaux porte sur les fronts, pour la création de vires et de cavités, mais aussi pour la mise en place d'éboulis.

Ces aménagements peuvent être réalisés de façon provisoire, durant la période d'activité de la carrière, certains pour quelques années (remblaiement partiel d'un bassin de fond de fosse, par exemple), d'autres pour plusieurs décennies (cavité pour un oiseau rupestre sur un front en position ultime mais devant à terme être ennoyé, mare temporaire sur une banquette...). Il peut s'agir également d'aménagements définitifs, réalisés dans le cadre de la remise en état.

Les deux approches décrites pour la gestion du site au quotidien (en interne ou avec assistance) s'appliquent aux aménagements à vocation écologique. Le choix du type d'approche est fonction des enjeux écologiques sur le site ou sa périphérie (présence et importance des habitats et espèces sensibles), ainsi que de l'ampleur des aménagements.

En cas d'enjeux importants et/ou d'aménagements de grande ampleur, l'assistance d'un expert en écologie s'avérera nécessaire. Un plan d'aménagement devra être élaboré, dont l'organisation sera identique à celle du plan de gestion simplifié pour la gestion au quotidien. Les deux plans vont s'imbriquer et donc se compléter, d'où la nécessité de confier leur mise en œuvre à la même structure, qui sera si possible celle qui a réalisé le volet faune-flore de l'étude d'impact.

- **L'état initial de la faune et de la flore** est d'abord constitué par les données de l'étude d'impact, document réglementaire dans lequel est défini le principe de la remise en état. Il peut être utile de compléter cet inventaire initial, souvent ponctuel dans le temps, avec de nouveaux relevés pour affiner les connaissances sur les terrains naturels de l'extension et sur la carrière. Les données du plan de gestion seront alors utiles.
- **Les objectifs écologiques des aménagements** ont également été définis dans l'étude d'impact. Là encore, ils peuvent être précisés, sur la base des compléments d'inventaires. Le ***Guide pratique d'aménagement écologique des carrières en eau*** **(Dasnias {ÉCOSPHÈRE}, 2002)** contient en annexe 3 (page 187) une méthodologie destinée à fixer des objectifs écologiques précis, selon trois niveaux : une approche par espèce, par habitat et/ou par le fonctionnement de l'écosystème*. Bien que d'abord destinée aux gravières, cette méthodologie est adaptable à tout type d'aménagement écologique.
- **Les modalités des travaux d'aménagement** sont rarement décrites de façon détaillée dans les études d'impact. Elles seront définies en concertation étroite avec l'exploitant qui seul évaluera la faisabilité technique des travaux et leur coût. Le projet doit faire l'objet d'une description précise : localisation sur un plan topographique, coupes cotées, matériaux utilisés (stériles argileux, blocs calcaires, terre végétale...), type de végétalisation, moyens utilisés...
- **L'évaluation de l'aménagement** est une action spécifique du plan, réalisée dans le cadre d'un suivi écologique (cf. § 3.4.3).

Comme le plan de gestion, **le plan d'aménagement** est constitué par l'ensemble des notes techniques rédigées à l'occasion de chaque action et classées chronologiquement, par phase quinquennale par exemple.

3.4.3 Le suivi écologique

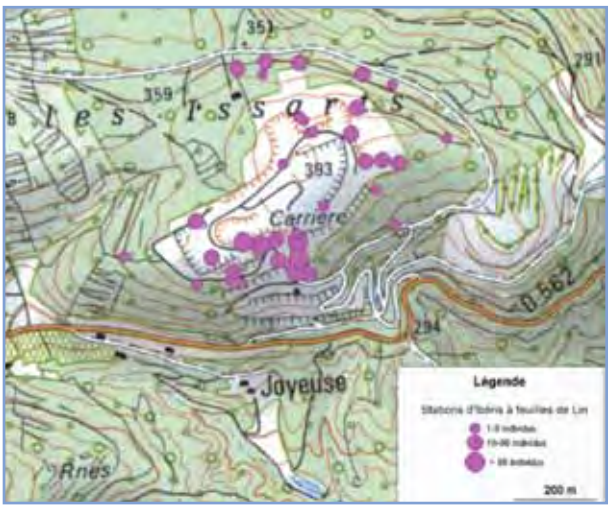
Le suivi écologique (ou veille écologique) consiste à surveiller l'évolution dans le temps des peuplements et des habitats de la carrière, dans le cadre notamment de la gestion au quotidien et des aménagements réalisés (ou non) pour la remise en état du site. Il est destiné à vérifier si les opérations de gestion et d'aménagement ont permis ou non d'atteindre les objectifs fixés, pour pouvoir les corriger si besoin.

Le suivi écologique peut porter également sur les terrains naturels localisés en périphérie de la carrière, de manière à évaluer l'impact d'éventuels effets indirects et proposer des solutions pour réduire ces impacts.

La fréquence du suivi est variable et évolutive. Elle dépend des enjeux biologiques, de la dynamique des peuplements et de la nature des opérations de gestion et d'aménagement : le suivi de la reproduction d'une espèce animale remarquable sera annuel, celui d'une population d'amphibiens assez communs pourra être biennal ou triennal. Le suivi de l'évolution d'une pelouse* calcicole* sera annuel durant deux ou trois ans, le temps que la pelouse s'installe, puis biennal et enfin quinquennal.

On constate parfois de fortes variations interannuelles au niveau des effectifs d'une population animale ou végétale donnée (orchidées par exemple), ce qui nécessite alors des relevés sur plusieurs années.

Figure 13 Deux espèces faisant l'objet d'un suivi floristique sur des carrières en exploitation



L'Hélianthème des Apennins *(Helianthemum apeninum) a été observé en 2001 sur une carrière de calcaire primaire des Pays de la Loire, région où elle est rare et protégée (ovales verts sur la carte). Le suivi pluriannuel de cette espèce a permis de constater que la population s'était étendue en 2005 à la faveur d'un remaniement (ovale rouge).*

Un projet de mise en place d'une bande transporteuse (en jaune) prend en compte les stations répertoriées.

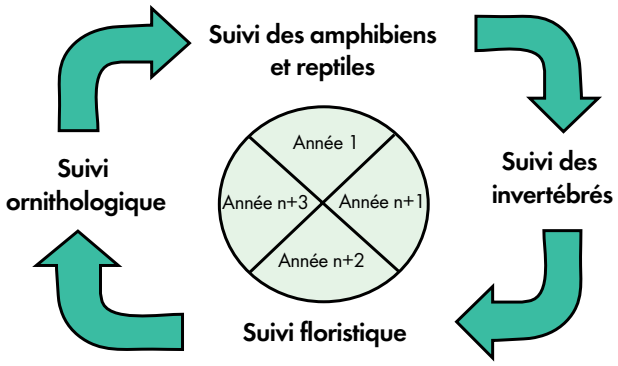
L'Ibéris à feuilles de lin *(Iberis linifolia), plante rare et protégée au niveau régional, a fait l'objet d'un suivi spécifique sur une carrière de roche calcaire du Var, entre 2000 et 2005.*

Le suivi a permis de constater que la population de cette plante s'était accrue sur la carrière, à la faveur des nouveaux remblais et merlons.

Un plan de conservation a été mis en place, sur la base de travaux de génie écologique sur des merlons aménagés de manière spécifique.

Une méthode a été testée par le bureau d'études ECOMED sur plusieurs carrières du sud de la France (Fig. 14). Elle consiste à effectuer des passages annuels sur la carrière, mais en inventoriant des groupes distincts chaque année, et ce sur un cycle de trois ou quatre ans. Cela limite le temps d'intervention de chaque spécialiste (et donc le coût) tout en maintenant une présence annuelle qui permet, par exemple, de détecter l'apparition d'une nouvelle espèce d'oiseau ou l'évolution d'une espèce végétale, même si l'on se trouve dans l'année de suivi des invertébrés (à condition que le spécialiste possède une culture naturaliste suffisante).

Figure 14 Exemple d'un suivi écologique quadriennal



La couverture géographique du suivi est également très variable. Elle est très réduite dans le cas du suivi d'un couple d'oiseaux rupestres* (l'aire et ses abords) ou d'une mare de 100 m² mais peut s'étendre sur plusieurs hectares dans le cas de la remise en état d'un vaste carreau.

Le suivi porte le plus souvent sur des surfaces assez réduites, placées à l'écart de l'activité principale de la carrière.

Les méthodes de suivi

- **Groupes biologiques** : sept groupes constituent aujourd'hui la base des inventaires faunistiques et floristiques en carrières de roches massives :

  - la flore vasculaire (plantes « à fleurs » et « fougères »),
  - les lépidoptères* rhopalocères* (papillons de jour),
  - les orthoptères* (criquets, grillons et sauterelles),
  - les odonates* (libellules),
  - les amphibiens (anoures : crapauds et grenouilles, urodèles : tritons, salamandres...),
  - les reptiles (lézards, serpents, tortues...),
  - les oiseaux.

Il s'agit de groupes de référence pour les raisons suivantes :

- **le repérage et l'identification** des espèces sont globalement aisés (espèces faciles à observer, nombreux ouvrages de détermination). Ces groupes sont donc bien connus d'un grand nombre de naturalistes ;
- **la répartition** des espèces et donc leur degré de rareté sont de mieux en mieux connus (nombreux atlas départementaux ou régionaux édités récemment ou en cours de réalisation). Tous ces groupes font l'objet de listes d'espèces sensibles (espèces protégées, espèces menacées, espèces déterminantes ZNIEFF), au niveau régional et/ou national, qui peuvent constituer des critères fiables pour définir le niveau de sensibilité biologique d'un milieu ;
- **l'écologie** des espèces est maintenant bien connue. Elles peuvent donc constituer de bons indicateurs écologiques en fournissant des informations sur les caractéristiques du biotope.

Tous ces groupes n'ont pas besoin d'être systématiquement inventoriés pour établir un diagnostic. Un inventaire précis de la flore vasculaire et des oiseaux, complété par un inventaire des amphibiens si la carrière abrite des milieux aquatiques, apporte déjà de nombreuses informations.

Quelques autres groupes d'espèces, parfois limités à une ou deux espèces, peuvent nécessiter des inventaires spécifiques du fait de leur forte valeur patrimoniale :

. les chiroptères (chauves-souris), présents parfois dans les cavités des fronts de taille,
. les crustacés branchiopodes, inféodés aux mares temporaires,
. les mollusques gastéropodes comme l'Escargot de Quimper,

- **Méthode d'inventaires** : à la demande de l'UNICEM*, un recueil des méthodes d'inventaires de la faune et de la flore a été rédigé par l'Association française des ingénieurs écologues (AFIE). Par ailleurs, la DIREN* Provence-Alpes-Côte d'Azur a édité un guide de bonnes pratiques pour la prise en compte du milieu naturel dans les études d'impact de carrières (téléchargeable sur le site de la DIREN).

Documents de référence :

- ***Guide des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels. Application aux sites de carrières* (UNICEM* et MNHN*, à paraître)**
- *Aide à la prise en compte du paysage et du milieu naturel dans les études d'impact de carrières en Provence-Alpes-Côte d'Azur.*

Les méthodes les plus couramment mises en œuvre sont les suivantes, pour chaque groupe biologique (des données complémentaires sont disponibles dans *Analyse et synthèse des inventaires de 35 carrières.* ENCEM, 2008) :

- **Flore** : les relevés floristiques sont souvent effectués selon une méthode proche de celle utilisée en phytosociologie*, c'est-à-dire en parcourant l'aire d'étude et en dressant une liste d'espèces pour chaque milieu de composition floristique homogène. Un coefficient d'abondance-dominance est attribué à chaque espèce. Les listes sont complétées à chaque passage, au cours d'une même saison de végétation.

- **Invertébrés** : deux types de relevés sont réalisés :

  - **relevé qualitatif** : simple contact avec une espèce, par prospection aléatoire de l'aire d'étude, parfois le long d'un transect* ou au sein d'un périmètre réduit (nécessite souvent la capture pour identification). Pour les odonates*, la recherche d'exuvies* complète utilement le relevé, en fournissant un indice certain de reproduction ;

  - **relevé semi-quantitatif** : estimation des effectifs rencontrés pour chaque espèce selon 3 classes d'effectifs au minimum (par ex. : 1 individu, 2 à 10 individus et plus de 10 individus), le long d'un transect* ou au sein d'un périmètre donné.

- **Amphibiens** : l'inventaire des amphibiens nécessite deux méthodes complémentaires :

  - **échantillonnage des adultes, des larves ou des pontes sur les sites de reproduction** (zones humides, mares, bassins de décantation, plan d'eau) par des captures à l'épuisette ou des observations directes durant la période de reproduction, idéalement la nuit (activité nocturne plus importante, localisation et identification facilitées au faisceau). Il s'agit de la seule méthode utilisable pour les urodèles (tritons et salamandres) qui n'effectuent pas de vocalises ;

  - **écoute sonore des vocalises** (chants) d'anoures (crapauds et grenouilles) durant la période de reproduction. Cette méthode simple et rapide est efficace à la fois pour identifier les espèces présentes mais aussi pour quantifier les populations. Plusieurs passages sont toutefois nécessaires car les espèces ont généralement des périodes de chant décalées.

- **Reptiles** : l'inventaire se déroule généralement à vue, soit de manière qualitative par un cheminement aléatoire sur les secteurs potentiellement favorables (lisières ensoleillées, pelouses* sèches, souches, tas de pierres, bords de zones humides...), soit de manière semi-quantitative par des transects préalablement définis. Ce type de relevé nécessite de bien connaître les reptiles et leurs habitudes.

  Une autre méthode d'inventaire consiste à placer préalablement des abris artificiels au sol (souvent des tôles ou des tapis de carrière) qui vont accumuler la chaleur et attirer certaines espèces. Ces abris doivent être placés plusieurs semaines avant l'inventaire, idéalement en fin d'hiver. Cette méthode permet de recenser plus aisément les espèces présentes sur le site mais pas forcément de connaître leur répartition locale ou leur abondance. Elle est surtout efficace pour les serpents.

- **Oiseaux** : trois approches sont utilisées pour les recensements d'oiseaux en carrière, en fonction du degré de précision souhaité et des potentialités locales :

  - **approche qualitative simple** : contacts visuels ou sonores de toutes les espèces présentes lors de plusieurs passages étalés sur les diverses périodes du cycle biologique (hiver, migration pré-nuptiale, nidification, migration post-nuptiale), en opérant un cheminement standardisé (même trajet, même durée d'inventaire...) ;
  - **approche semi-quantitative** : elle permet d'obtenir une image plus fine du peuplement présent sur le périmètre d'étude (avifaune* nicheuse en général, mais l'approche peut être adaptée aux périodes migratoires ou hivernales). Les relevés sont calqués sur un protocole IPA (Indices Ponctuels d'Abondance) qui consiste à effectuer plusieurs passages (souvent deux répartis à un mois d'intervalle autour d'une date optimale) sur les mêmes points préalablement définis et répartis de manière la plus homogène sur l'ensemble des habitats présents. On obtient alors les fréquences de répartition de chaque espèce en fonction des milieux ;
  - **relevé spécifique** : destiné au suivi d'espèces à forte valeur patrimoniale (Hirondelle de rivage, Hibou grand-duc, Faucon pèlerin, Grand corbeau, Œdicnème criard...). Le suivi est adapté à l'espèce et à sa biologie (dates et méthodes d'inventaires) afin d'obtenir une image la plus fine possible des populations (effectifs précis, cartographie précise des nids et territoires, réussite de la nidification, impacts éventuels...).

- **Chiroptères (chauves-souris)** : deux méthodes complémentaires peuvent être utilisées :

  - **écoute des vocalises durant les périodes d'activité nocturnes** à l'aide d'un détecteur d'ultra-sons (*Bat-Box*). Cette méthode simple permet d'échantillonner de grandes surfaces et d'opérer un recensement semi-quantitatif le long de transects*. Cependant, seul du matériel sophistiqué et coûteux (détecteur à expansion de temps) et des compétences certaines permettent de recenser toutes les espèces avec certitude ;
  - **prospection des gîtes** : consiste en une identification visuelle des individus au repos dans leurs cavités. En hiver, il s'agit de la seule méthode employée pour recenser les colonies (elle nécessite alors de grandes précautions car les animaux présentent une hyper-sensibilité à la chaleur des lampes et à la lumière qui peuvent compromettre l'hibernation). En période d'activité, les prospections de gîtes d'estivage sont plus faciles. Elles peuvent être complétées par une détection sonore ou ultra-sonore des animaux (notamment dans les cavités arboricoles) à l'aide d'un détecteur d'ultra-sons (*Bat-Box*).

Figure 15 Petit Rhinolophe en carrière

La capture au filet est une méthode longue et complexe qui demande l'intervention de spécialistes possédant les autorisations nécessaires (généralement issus des associations spécialisées). Elle permet de capturer et identifier les espèces présentes en un point donné. Peu utilisée dans le cadre de suivis écologiques ou d'études d'impact, cette méthode permet surtout de marquer des individus à l'aide d'émetteurs pour localiser ensuite une colonie. Elle peut être intéressante dans une problématique de conservation de gîtes ou de cavités (avant une remise en état par exemple).

Figure 16 Deux méthodes de suivi faunistique en carrière

Identification d'invertébrés à vue (jumelles à mise au point rapprochée) ou après capture (ici une Cordulie métallique). L'identification de l'espèce, de l'âge ou du sexe des individus nécessite bien souvent la capture et l'observation attentive de l'animal.

Identification d'oiseaux rupestres (ici un Faucon crécerelle) à l'aide d'une longue-vue. Dans le cas d'oiseaux farouches comme le Grand Corbeau, l'observateur doit se faire discret pour ne pas gêner la nidification.

- **Habitats naturels** : les habitats sont essentiellement définis sur la base des groupements végétaux, ceux-ci étant définis en se référant aux publications scientifiques et à plusieurs ouvrages de description de la végétation. La nomenclature* de référence des groupements est désormais celle du *Prodrome des végétations de France* (Bardat J. et *al.*, 2004). On constate souvent que la composition floristique des groupements végétaux de carrières ne correspond que partiellement à celle des groupements de référence identifiés dans les milieux naturels. Les groupements de carrières ne peuvent alors qu'être *apparentés* à ces derniers.

  La nomenclature* de référence des habitats européens est celle de ***Corine biotope*** (Bissardon et Guibal, 1997). Si possible, l'habitat identifié doit être référencé par rapport à cette nomenclature. Cependant, de nombreux groupements de carrières, les friches par exemple, ne figurent pas dans cette nomenclature, hormis sous la référence 86.41 « Carrières ».

- **Paramètres physiques** : la mesure et le suivi de certains paramètres peuvent être importants pour comprendre le fonctionnement de certains habitats, notamment ceux liés aux milieux aquatiques : pH, conductimétrie, profondeur, marnage*...

L'évaluation de la sensibilité biologique

L'évaluation de la sensibilité biologique d'une espèce est généralement déterminée par son degré de rareté. Diverses listes d'espèces rares et/ou menacées peuvent être utilisées en fonction de l'échelon géographique retenu (Europe, France, région, département...), comme par exemple :

- listes des espèces végétales des annexes II et IV de la directive européenne Habitats (directive 92/43/CEE) ;
- liste des espèces végétales protégées au niveau national (arrêté du 20 janvier 1982 modifié par l'arrêté du 31 août 1995) ;
- liste des espèces végétales protégées au niveau régional ;
- liste des espèces végétales et animales déterminantes ZNIEFF* au niveau régional ;
- liste des espèces végétales et animales déterminantes TVB (Trame verte et bleue) au niveau régional (en préparation) ;
- liste de l'annexe I de la directive européenne « Oiseaux » (directive 2009/147/CE) ;
- liste des espèces animales de l'annexe II de la directive européenne Habitats (directive 92/43/CEE) ;
- liste rouge des mammifères de métropole : catégories des espèces menacées de disparition en France (UICN* France, MNHN*, SFEPM* et ONCFS*, 2009) ;
- liste rouge des oiseaux nicheurs de métropole : catégories des espèces menacées de disparition en France(UICN France, MNHN, LPO*, SEOF* et ONCFS, 2008) ;
- liste rouge des reptiles et amphibiens de métropole : catégories des espèces menacées de disparition en France (UICN France, MNHN et SHF*, 2009).

Ces listes évoluent parfois, en fonction de l'état des connaissances ou de l'état des populations animales et végétales.

Le statut de protection, s'il constitue souvent un bon critère de sensibilité pour les espèces végétales (listes nationale et régionales) et les invertébrés, n'est pas un critère utilisable pour les vertébrés (amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères), toutes les espèces « non chassables » et « non nuisibles » étant protégées.

La sensibilité des habitats en tant que tels peut être définie en se référant aux habitats d'intérêt communautaire de la directive Habitats 92/43/CEE. Une hiérarchisation de la sensibilité peut être établie selon que l'habitat est prioritaire ou non. Les **cahiers d'habitats** fournissent une description précise des habitats d'intérêt communautaire. Ils sont téléchargeables sur le site :
http://natura2000.environnement.gouv.fr/habitats/cahiers.html.

Certaines DIREN ont établi une liste d'habitats déterminants ZNIEFF pour aider à la définition des zonages et qui peut également être utilisée pour définir les habitats sensibles.

3.4.4 La sensibilisation et la formation du personnel

Les démarches participatives mises en place depuis plusieurs années en France (exemple des programmes *Vigie Nature* du Muséum national d'histoire naturelle) s'inscrivent dans une logique de sensibilisation du grand public à l'égard de la biodiversité, qu'elle soit « ordinaire » ou « remarquable ».

Ce type d'initiative peut être repris en partie sur les carrières. Les premiers observateurs sur un site d'extraction sont en effet les employés. Ce sont eux, le plus souvent, qui décèlent la présence d'oiseaux rupestres* ou d'amphibiens. Ils s'approprient logiquement ces observations en étant les témoins quotidiens des évolutions naturelles du site. Il est donc intéressant à la fois dans une démarche de connaissance (suivi écologique) mais également de sensibilisation du personnel, d'impliquer les personnes volontaires dans cette phase de suivi. Le suivi d'oiseaux nicheurs rupestres*, par exemple, peut être mené en partie par une personne motivée qui note chaque jour ses observations : va-et-vient d'individus, cris d'alarmes, présence ou absence d'oiseaux... Ces données peuvent alors compléter les observations beaucoup plus ponctuelles de l'organisme chargé du suivi écologique. De même, elle peut noter la première date d'observation d'Hirondelles de rivage, la floraison d'une espèce particulière à un secteur de la carrière ou la première ponte d'amphibien sur une mare...

Cette démarche a fait ses preuves dans une politique de connaissance et de préservation de la biodiversité. Cette appropriation du site d'un point de vue écologique représente également une étape importante dans la protection des milieux naturels remarquables, y compris au sein d'un site industriel tel qu'une carrière de roche massive.

Figure 17 Sensibilisation à la biodiversité dans les carrières des Mauges

Le CPIE Loire et Mauges a engagé en 2002 une démarche visant à évaluer la qualité biologique des carrières en exploitation dans la région naturelle des Mauges (région de Cholet, 49), dans le cadre d'un projet global d'amélioration des connaissances sur les habitats naturels et les espèces de la région. Sept sociétés ont participé à ce projet de « gestion intégrée et durable de la biodiversité des sites d'extraction ».

Après une phase d'inventaires, en 2002 et 2003, chaque site a fait l'objet d'une analyse de la sensibilité biologique des différents secteurs d'exploitation et des conseils ont été fournis aux exploitants, d'une part pour la gestion de cette biodiversité, d'autre part pour la remise en état des sites.

Cette étude a été l'occasion de nombreux échanges entre le personnel des carrières (cadres et employés) et les naturalistes du CPIE. Elle a permis une véritable sensibilisation à la biodiversité.

Un document de présentation de cette démarche a été publié en 2006. Il est téléchargeable sur le site internet du CPIE Loire et Mauges :
http://www.cpie.paysdesmauges.fr/uploads/documents/Biodiversite_et_sites_d_extraction.pdf

Figure 18 Session de formation du personnel en Bretagne

Un programme de formation du personnel sur la biodiversité en carrière a été mis en place dans chaque région par la Charte Environnement des industries de carrières et les premières sessions ont eu lieu en 2010. Elles sont animées le plus souvent par des associations locales ou régionales de protection de la nature.

4 - Données générales sur la gestion et les aménagements écologiques en carrrière

> *Les grandes orientations du guide*
> *Quelques principes de l'aménagement écologique en carrière*
> *Les corridors écologiques*
> *Les milieux aquatiques*
> *L'entretien de la végétation*
> *Les travaux de végétalisation*
> *Les travaux de restauration par transfert de milieu*
> *L'ouverture au public*

4 - Données générales sur la gestion et les aménagements écologiques en carrière

4.1 Les grandes orientations du guide

*4.1.1 L'écologie de la restauration**

En écologie de la restauration*, différents niveaux d'intervention sont définis en fonction du degré d'altération des milieux naturels : la restauration* (on stoppe la dégradation pour permettre au milieu de retrouver son état d'origine), la réhabilitation* (on intervient de façon importante pour tenter de redonner au milieu son état d'origine) et la réaffectation* (on donne au milieu un nouvel état ; Le Floc'h et Aronson, 1995).

Comme l'ont bien montré l'étude bibliographique (ENCEM, 2007) et la synthèse des inventaires (ENCEM, 2008), **la reconstitution de milieux naturels au sein des carrières de roches massives appartient au domaine de la réaffectation***, c'est-à-dire la création de nouveaux biotopes* auxquels sont associées de nouvelles biocénoses* qui constituent des écosystèmes* différents des écosystèmes d'origine. Il est donc illusoire de vouloir reconstituer à l'identique les milieux naturels d'origine, tant sont complexes les relations qui unissent les biotopes et les biocénoses de ces milieux. En d'autres termes, un écologue saura installer sur une carrière *une* pelouse calcicole ou *une* prairie mais sera incapable de reconstituer *la* pelouse ou *la* prairie d'origine.

L'objectif de ce guide est donc surtout de fournir des pistes permettant de valoriser au mieux les habitats et les biocénoses qui s'installent spontanément sur les carrières, notamment ceux à forte valeur patrimoniale comme les grèves* oligotrophes*, les bas-marais alcalins*, les oiseaux rupestres*, etc.

Cependant, il est parfois demandé de tenter de reconstituer une partie des écosystèmes* préexistants. Les paragraphes 4.6 et 4.7 présentent un aperçu des techniques de restauration* qui peuvent être mises en œuvre dans ces cas particuliers.

4.1.2 Les travaux de végétalisation

Dans la logique du chapitre précédent, **les aménagements préconisés s'appuient essentiellement sur une colonisation spontanée des milieux par la végétation**.

En carrière, l'introduction artificielle de plantes, par semis ou plantation, est rarement nécessaire dans le cadre d'aménagements à vocation écologique *stricto sensu*. Elle peut même nuire aux biocénoses* naturelles, par exemple par effet de concurrence (l'espèce introduite, très vigoureuse, gêne la colonisation spontanée par des espèces moins agressives) ou par pollution génétique (l'espèce introduite modifie, par croisement, le patrimoine génétique d'une population locale de la même espèce, adaptée aux conditions écologiques particulières du secteur et qui constitue ce qu'on appelle un écotype*).

Cependant, des opérations d'ensemencement ou de plantation sont parfois utiles, pour mettre en place un habitat spécifique (introduction de roseau pour l'accueil de fauvettes paludicoles, par exemple) ou en complément des aménagements à vocation écologique (fixation de substrats* pentus, sécurisation d'un haut de front, mise en place d'un couvert limitant les espèces invasives, etc.). Le chapitre 5 donne quelques pistes pour réaliser des opérations de végétalisation « écologique » et propose une liste de documents de référence sur différents types de réaménagement de carrières (forestier, agricole, paysager...).

4.1.3 Milieux ouverts et substrats compacts

Globalement, ce guide privilégie la création et le maintien de milieux ouverts (surtout herbacés*, voire minéraux) **ou semi-ouverts** (mosaïque de ligneux* au sein de milieux ouverts), ces milieux étant globalement plus riches et plus diversifiés que les milieux fermés (ligneux denses) en ce qui concerne les carrières (ENCEM, 2008).

Ces milieux sont généralement liés à des **substrats* compacts** (roche mère*, substrat tassé par le passage des engins : pistes, carreaux) que nous conseillons donc de conserver ou de créer. Par ailleurs, la dynamique de la colonisation végétale est lente sur les substrats compacts et permet donc de conserver longtemps des milieux ouverts, *sans entretien particulier*, sur des carrières anciennement exploitées.

Cette orientation ne signifie pas pour autant que l'aménagement de milieux fermés est à proscrire. Il faut simplement avoir conscience que ces milieux s'installent progressivement, de façon plus ou moins rapide en fonction des caractéristiques du site et qu'il est préférable qu'ils ne colonisent pas d'emblée toute la carrière lorsque celle-ci ne sera plus exploitée.

4.1.4 L'emploi de la terre végétale

Le caractère oligotrophe (pauvre en éléments nutritifs) des sols minéraux des carrières constitue une des principales sources de richesse en termes de biodiversité (ENCEM, 2008). **La réutilisation de la terre végétale décapée sur les milieux d'origine est donc, le plus souvent, incompatible avec l'aménagement d'habitats oligotrophes***.

Il existe cependant des situations particulières où il peut être intéressant de récupérer les graines contenues dans la terre végétale d'un milieu naturel qui doit être décapé et que l'on souhaite reconstituer sur la carrière (pelouse calcicole* par exemple). Le régalage* de tout ou partie de la terre végétale issue de ce milieu est une technique d'ensemencement du substrat* recréé (cf. § 4.6.1).

La terre végétale doit surtout être réservée à la création d'habitats à caractère agronomique ou forestier, comme une prairie* dense ou un peuplement forestier intégrant des espèces exigeantes vis-à-vis de la qualité du sol. *Mais le développement souvent important de la végétation sur les substrats régalés de terre végétale (plantes nitrophiles* des friches culturales, ronciers...) exige un entretien constant des milieux aménagés.*

4.1.5 Nature ordinaire et espèces remarquables

On parle de plus en plus de « nature ordinaire », par opposition aux milieux naturels remarquables inventoriés en ZNIEFF ou en zone Natura 2000, qui ont besoin d'être reliés entre eux par des espaces agricoles ou forestiers « ordinaires » (trame verte). Par ailleurs, l'intensification continue des pratiques agricoles fait prendre conscience de l'intérêt d'une nature que l'on jugeait encore banale il y a quelques années.

L'objectif du guide est d'abord d'aider à ce que les carrières soient colonisées par une faune et une flore riches, diversifiées et ordinaires, de manière à pouvoir compenser l'érosion de la biodiversité souvent constatée en périphérie.

Mais les carrières présentent également la caractéristique de pouvoir accueillir des espèces dites « spécialisées » et donc souvent remarquables. Nombre d'aménagements proposés dans ce guide sont destinés à l'accueil de ces espèces, ce qui n'empêche nullement la cohabitation avec des espèces plus ubiquistes*.

4.1.6 « Donner un coup de pouce à la nature »

Cette formule consacrée résume l'esprit du guide par les deux principes qu'elle contient.

Donner un coup de pouce signifie que l'on ne se contente pas de « laisser faire la nature », même si une des options de gestion proposées (cf. § 3.3) est basée sur le principe que tout ou partie de la carrière peut constituer un espace de totale liberté pour la nature. Le hasard ne fait pas toujours bien les choses et bien des carrières n'expriment que partiellement leurs potentialités d'accueil pour la faune et la flore.

Mais la formule contient aussi l'idée de sobriété et de simplicité. Sauf exception, les mesures de gestion et les aménagements proposés demandent peu de moyens techniques (pour un exploitant de carrière, précisons, car une pelle mécanique ou un chargeur ne sont pas des outils à la portée de tous les gestionnaires de milieux naturels), assez peu de temps et sont réalisables par le personnel de la carrière.

4.1.7 Privilégier le moindre coût environnemental

Les aménagements préconisés, s'ils sont simples techniquement, sont également peu coûteux en énergie : aménager des dépressions sur un carreau pour former un réseau de mares ou creuser une cavité dans un front de taille demande beaucoup moins d'énergie que de régaler carreaux et fronts de stériles pour tenter de reconstituer rapidement une prairie ou un boisement. De la même façon, une recolonisation spontanée par la végétation présente un bilan environnemental positif pour un coût financier nul.

4.2 Quelques principes de l'aménagement écologique en carrière

4.2.1 *Éviter les finitions « jardinées »*

Le gros oeuvre des aménagements écologiques (ripage*, talutage*, remblaiement...) est réalisé par le personnel des carrières, qui effectue également le gros œuvre des aménagements paysagers et qui a à cœur de réaliser un travail soigné, « sans le moindre caillou qui dépasse ». Si louable soit-elle, cette façon de faire n'est pas adaptée aux aménagements écologiques. La richesse des milieux tient pour beaucoup dans **la juxtaposition de micro-habitats** (quelques centimètres à quelques décimètres) qui, par le fruit du hasard, vont créer les conditions physiques recherchées par telle ou telle espèce.

Il faut donc, à partir d'un principe d'aménagement clairement défini (berge en pente douce de 5° en moyenne sur la bordure ouest du bassin de fond de fosse, par exemple), multiplier les micro-accidents topographiques, en variant au maximum les paramètres (hauteur de l'accident, exposition, répartition...).

4.2.2 *Éviter l'homogénéité des habitats*

Ce principe est l'équivalent du précédent, mais cette fois à l'échelle des habitats. Il est préférable, globalement, **de conserver ou mettre en place une mosaïque de milieux naturels** plutôt que de constituer un habitat unique sur une grande surface.

C'est souvent la juxtaposition de différents milieux qui favorise la biodiversité et l'équilibre écologique d'un site, de nombreuses espèces utilisant des habitats très différents durant les différentes phases de leur cycle biologique (amphibiens par exemple) et/ou durant chaque phase de ce cycle (site d'alimentation/site de reproduction pour un oiseau de falaise, par exemple).

Il existe cependant des exceptions justifiant de constituer un habitat homogène sur une grande surface pour l'accueil d'une espèce donnée, comme par exemple une vaste pelouse* steppique susceptible d'accueillir le Pipit rousseline ou l'Outarde canepetière, au sein d'un bocage assez diversifié.

4.2.3 *Remanier les milieux à la bonne période*

La destruction d'habitats et de biocénoses* lors du remaniement d'un secteur de la carrière laissé quelque temps à l'écart de l'activité est bien sûr inéluctable et, pour ainsi dire, caractéristique de l'écosystème* carrière. Il est cependant assez aisé de limiter cet impact en intervenant à la bonne période s'il est possible d'anticiper les travaux.

D'une manière générale, **il faut essayer d'éviter tout remaniement durant la saison d'activité principale de la faune, c'est-à-dire du début de mois de mars à la fin du mois de juillet**. Ce calendrier doit cependant être adapté aux espèces présentes sur la zone. Dans l'ouest de la France, le Crapaud commun ou la Grenouille rousse pondent dans les mares dès le mois de janvier, par exemple. À l'inverse, des chauves-souris peuvent s'abriter dans les fissures des fronts jusqu'à la fin de l'été, voire durant l'hiver (hibernation).

Ce principe n'est pas toujours applicable dans une carrière en activité, les contraintes de production imposant parfois d'intervenir durant le printemps et l'été sur des milieux colonisés.

4.2.4 *Répartir les habitats naturels sur la carrière*

Il est préférable d'éviter, sur une carrière, qu'une population d'une espèce donnée, notamment s'il s'agit d'une espèce à forte valeur patrimoniale, soit concentrée en un seul point de la carrière, surtout si cette zone est appelée à être remaniée. Ce peut être le cas, par exemple, d'une petite population de Crapaud accoucheur localisée aux abords immédiats du bassin de fond de fosse.

Pour éviter cette situation, chaque milieu concerné à la fois par une population à préserver et un projet de remaniement devrait posséder sur la carrière au moins un double placé à l'abri de l'activité. Plus la population de l'espèce sera dispersée, plus elle sera apte à se maintenir sur le site.

4.2.5 Ne pas empoissonner tous les bassins

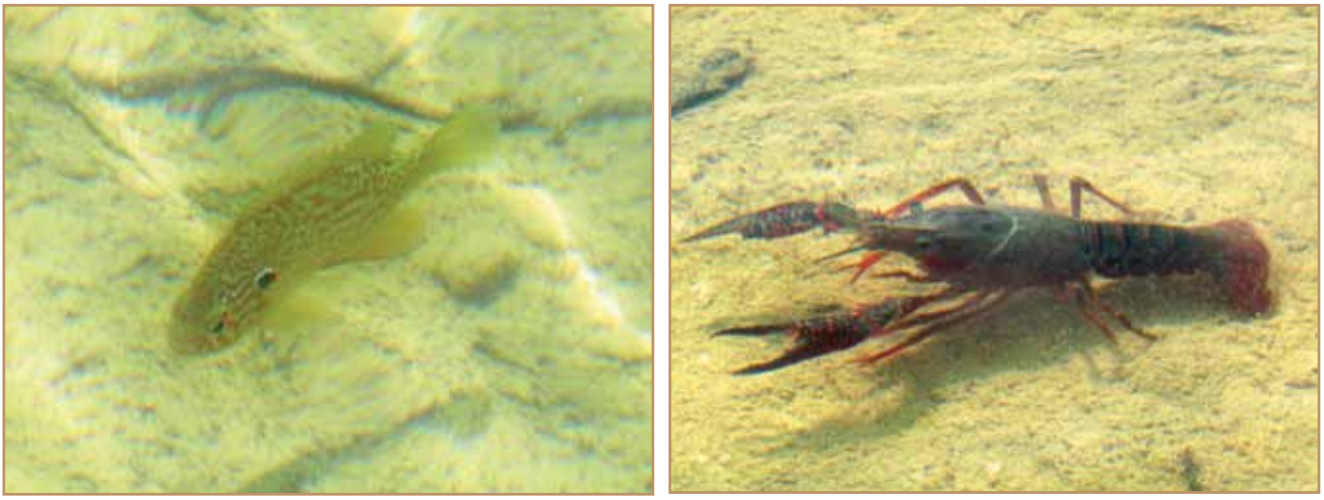
L'absence de poissons dans les mares temporaires de carrières et leur présence généralement limitée dans les bassins sont deux facteurs très favorables aux amphibiens et aux invertébrés (odonates* en particulier) qui, là encore, distinguent les milieux aquatiques de carrières des plans d'eau de loisirs agricoles ou urbains.

Certains sites, cependant, s'avèrent très pauvres en faune aquatique du fait de la présence de nombreux poissons introduits dans les bassins pour la pratique de la pêche. Même des milieux aquatiques aménagés de manière spécifique pour les amphibiens sont parfois empoissonnés par le personnel de la carrière, par méconnaissance de l'effet de prédation ou de perturbation exercé par les poissons sur les têtards et les larves d'insectes.

Il convient donc de bien informer le personnel dans le cadre d'aménagement de milieux aquatiques à vocation écologique, de manière à distinguer nettement les éventuelles zones de pêche des zones à amphibiens et odonates*. Tout milieu aquatique permanent de plaine est colonisé naturellement par les poissons, du fait notamment du transport des œufs par les oiseaux. Mais la colonisation de nouveaux milieux peut être assez lente, avec des effectifs réduits, notamment en espèces carnivores.

Plus globalement, toute introduction d'espèce animale est à éviter. Il peut en effet s'agir d'espèces invasives ou simplement étrangères à la région, qui risquent de perturber les peuplements des milieux naturels situés en périphérie de la carrière (concurrence, pollution génétique...).

Figure 19 Deux espèces animales invasives des bassins permanents et plans d'eau de fosse



La Perche soleil (Lepomis gibbosus) et l'Écrevisse de Louisiane (Procambarus clarkii) sont deux espèces nord-américaines carnivores estimées invasives. Leur présence dans un plan d'eau de fosse d'une carrière calcaire de Gironde diminue fortement ses potentialités d'accueil pour les amphibiens.

4.3 Les corridors écologiques

Le corridor écologique est un espace de forme linéaire offrant des possibilités d'échanges entre des réservoirs de populations (Burel et Baudry, 1999). Il permet ainsi des échanges entre des populations naturelles distinctes, qu'elles soient végétales ou animales, par le biais d'éléments plus ou moins naturels (haie, rangée d'arbres, vallon, fossé, rivière...).

Sa fonctionnalité dépend de sa configuration et de la qualité des éléments qui le constituent, ainsi que des potentialités de dispersion des populations animales et végétales. La mise en place d'un corridor ne sera d'aucune utilité, par exemple, s'il n'existe plus de populations susceptibles de l'exploiter.

Un même élément paysager peut avoir plusieurs fonctions

Chaque élément du paysage peut remplir différentes fonctions biologiques qui doivent être clairement identifiées avant un aménagement. Ainsi, une haie sera à la fois :

- un habitat de vie pour certaines espèces peu mobiles (incluant la notion de corridor),
- un simple corridor biologique pour certaines espèces mobiles,
- à l'inverse, une barrière ou plus exactement un filtre pour des espèces de milieux ouverts.

Il convient donc de bien définir les objectifs de conservation ou de restauration avant de définir ou mettre en place un corridor écologique.

Contexte réglementaire

En quelques années, la notion de corridor biologique, jusqu'alors réservée au domaine de la biologie de la conservation, s'est imposée comme un outil essentiel de l'aménagement du territoire. La fragmentation des habitats liés à la disparition et à la dégradation des milieux naturels dans les zones anthropisées a été identifiée comme une source majeure d'érosion de la biodiversité : risque d'extinction de populations fragilisées, territoires insuffisants pour certaines espèces, isolement génétique...

Si l'importance des corridors est reconnue depuis la Convention de Rio en 1992, il a fallu attendre le vote du Grenelle de l'environnement en 2008 pour que soient posés les fondements d'une réglementation en devenir par la mise en place de la *Trame verte* et *bleue*.

Échelle spatiale

L'échelle spatiale est importante dans la définition de corridors car le même terme peut être employé de l'échelle d'une parcelle et à celle d'un continent. Dans le cas d'une carrière de roche massive, on pourra définir trois échelles spatiales principales (Figure 20) :

- **Corridors intra-carrière**. Ils facilitent les déplacements entre les différents secteurs d'exploitation ou au sein d'un même secteur.

Les corridors de la carrière sont importants car, en facilitant la dispersion de la population d'une espèce en plusieurs noyaux, ils favorisent son maintien lors de travaux affectant l'un des noyaux.

- **Corridors entre carrière et environnement périphérique**. Les déplacements sont potentiellement nombreux entre une carrière et son environnement, de façon quotidienne (zone d'alimentation ou d'abri pour les mammifères), saisonnière (reproduction des amphibiens) ou progressive (colonisation de la carrière par les invertébrés : insectes, mollusques...).

- **Carrière incluse dans une trame verte ou bleue** où le site apparaît alors comme une zone refuge pour des espèces à caractère pionnier* ou un simple élément de nature ordinaire au sein de la trame.

Figure 20 Principales échelles de corridors écologiques pouvant concerner une carrière de roche massive

Corridors intra-carrière

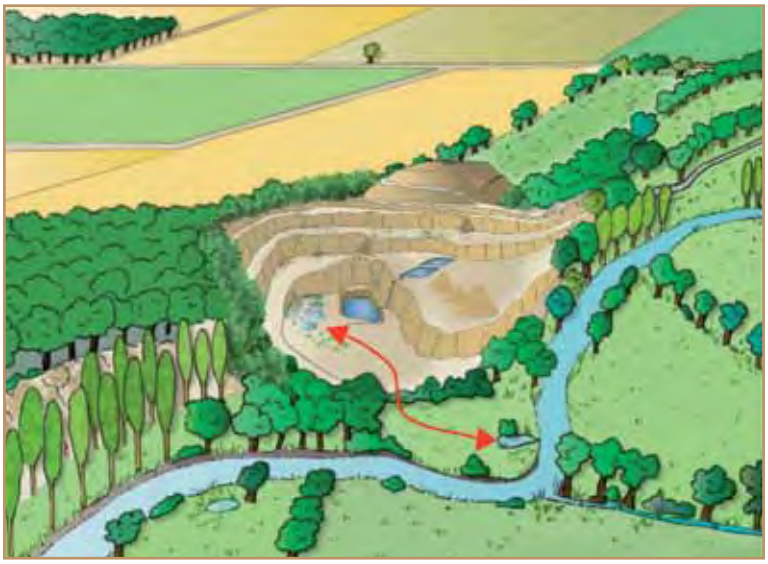
Les fronts de taille et dénivelés abrupts (remblais, merlons, berges des bassins...) sont des obstacles au déplacement d'une partie de la faune. Les pistes, les éboulis, les éléments végétaux constituent des corridors entre les différents paliers.

Le degré d'humidité et la couverture végétale des sols sont d'autres facteurs influençant les déplacements. Ainsi, les substrats* minéraux nus et secs sont défavorables au déplacement de la Salamandre tachetée mais pas à celui du Crapaud calamite qui est par contre gêné par une végétation herbacée dense.

Corridor carrière / milieu environnant

Les peuplements animaux et végétaux d'une carrière sont pour partie influencés par l'occupation du sol en périphérie immédiate.

Ainsi, il semble que les populations d'amphibiens et d'odonates* sont plus diversifiées quand le contexte périphérique est « humide », c'est-à-dire riche en milieux aquatiques, amphibies* ou hygrophiles* qui facilitent leur déplacement vers la carrière. De la même façon, la présence de milieux herbacés* naturels favoriserait la colonisation de la carrière par les orthoptères* (Encem, 2008).



Carrière incluse dans une trame verte ou bleue

Les carrières constituent des zones refuges* mais aussi des zones sources*, par exemple pour les amphibiens, à condition qu'elles soient intégrées dans un réseau qui permette le déplacement des individus vers d'autres milieux naturels, voire d'autres carrières.

Elles sont souvent ouvertes à flanc de coteau, dans les vallées, et bénéficient d'emblée de cette situation au sein de corridors généralement fonctionnels.

Nombre de carrières ne peuvent cependant être connectées naturellement, du fait de la présence de barrières naturelles et artificielles. Les oiseaux d'eau permettent cependant des échanges d'espèces aquatiques et amphibies sur de longues distances. Le vent est un vecteur d'organismes de taille réduite (spores, insectes...). Les camions participent également au transfert d'espèces entre les sites, via les matériaux contenant des plantes et des invertébrés, parfois des vertébrés.

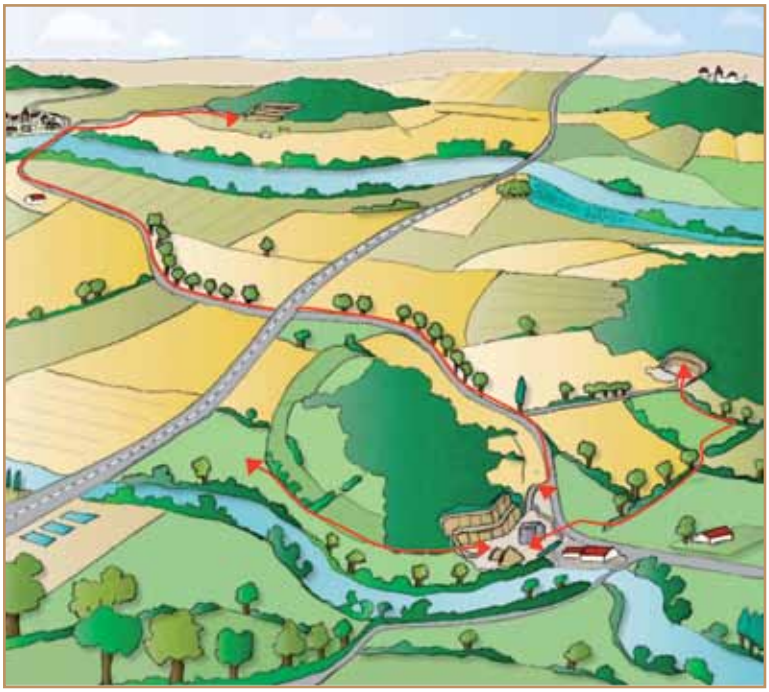


Figure 21 Quelques exemples de corridors écologiques de carrières

Les fossés

Les fossés en eau de façon permanente ou temporaire, même de taille réduite, peuvent jouer un rôle important pour le déplacement des espèces hygrophiles*.

Ces milieux sont cependant assez rares sur les carrières, même sur les roches imperméables.

Les pièges à cailloux aménagés parfois en pied de fronts pour les sécuriser peuvent jouer un rôle similaire quand ils abritent des milieux aquatiques

Fossé d'une carrière de grès de Saône-et-Loire

Les merlons

Les merlons constituent en périphérie de la carrière une ceinture verte qui assure des connexions rendues impossibles par la présence de la fosse centrale. Ils sont assimilables à des haies, à caractère plus souvent herbacé* ou buissonnant qu'arborescent.

Merlon périphérique à couverture herbacée d'une carrière des Deux-Sèvres

Au sein de la carrière, par exemple en bordure des pistes, les merlons de matériaux stériles qui se végétalisent facilitent également la dispersion de la faune et de la flore.

Merlon de bordure de piste sur une carrière calcaire de Charente.

La végétation, en partie introduite, abrite de nombreux insectes qui peuvent se propager sur la carrière à partir de ce merlon de plusieurs centaines de mètres de long.

Les éboulis

Les éboulis entre deux paliers constituent parfois les seuls passages utilisables pour une partie de la faune. En fonction du groupe biologique, voire de l'espèce, la fonctionnalité de ce corridor dépend probablement de la granulométrie* des éléments qui le composent et de sa couverture végétale.

Carrière de grès de la Manche

La présence de végétaux sur les fronts, même de façon dispersée, joue probablement un rôle dans le déplacement des invertébrés sur la carrière.

Ancien front d'une carrière de grès de Belgique

4.4 Les milieux aquatiques

Les principaux facteurs physiques qui influent sur la colonisation faunistique et floristique des milieux aquatiques et amphibies sont la durée d'inondation, la surface de contact entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, la profondeur de la lame d'eau, la compaction du substrat* et l'amplitude du marnage* (Figure 22).

Figure 22 Les facteurs physiques des milieux aquatiques et amphibies

Durée d'inondation

Ce facteur permet de distinguer les milieux en eau de façon **permanente** de ceux en eau de façon **temporaire**. Il est lié à la profondeur de la dépression, à la perméabilité du substrat* (roches éruptives ou calcaires, présence d'argile), à la quantité d'eau apportée (pluviométrie, apports souterrains, apports humains) et exportée (évaporation, pompage).

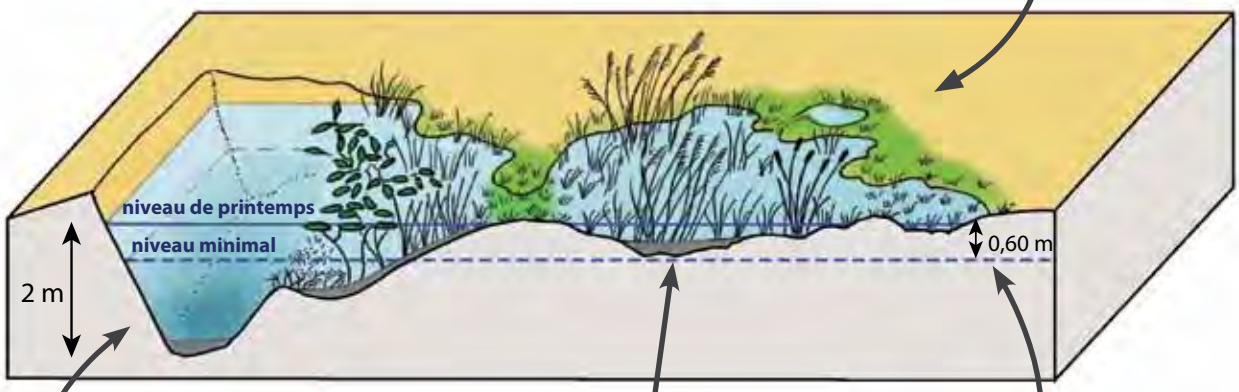
Les organismes *strictement* aquatiques ne peuvent vivre que dans les milieux permanents : plantes aquatiques, invertébrés aquatiques, poissons.

Les milieux temporaires sont favorables à des organismes adaptés à une exondation estivale du substrat, qui bénéficient en outre de l'absence des espèces strictement aquatiques (absence de concurrence). Il s'agit d'organismes amphibies *lato sensu*.

Surface de contact entre milieu aquatique et milieu terrestre

Plus cette surface est grande, plus les variations du **gradient hydrique*** du substrat* et plus la diversité biologique sont importantes, chaque espèce animale ou végétale étant liée à un degré hydrique* particulier. Cette surface varie de deux façons :

- selon **la pente** du substrat situé dans la zone de marnage* de la dépression : les variations du gradient hydrique sont très faibles au niveau d'une berge verticale et augmentent au fur et à mesure que la pente s'adoucit. Elles restent faibles jusqu'à une pente d'environ 10° (1 pour 6) et deviennent fortes à moins de 5° (1 pour 12) ;
- selon **le linéaire** de berges : la **sinuosité** de la berge permet de d'augmenter le linéaire d'interface.



Profondeur

La profondeur joue sur la luminosité et donc sur le développement de la végétation. **La majorité des plantes et des algues se développe à moins de 2 m de profondeur,** la limite de la vie végétale étant d'environ 3 m en eau peu turbide (4 m en eau très claire). Les oiseaux plongeurs (fuligules, grèbes, foulques...) se nourrissent cependant jusqu'à des profondeurs de 4 à 5 m, voire plus (valeur variable en fonction des espèces).

La **température** de l'eau varie plus rapidement en surface qu'en profondeur. Les eaux peu profondes se réchauffent rapidement au printemps, ce qui favorise le développement de certaines espèces.

Compaction du substrat*

La présence d'un **horizon meuble** (vase minérale ou organique) est indispensable au développement des plantes disposant de racines : une partie de la flore aquatique et toute la flore amphibie. La densité de la végétation et sa hauteur sont liées à l'épaisseur des sédiments.

Une partie de la faune recherche également les sédiments vaseux pour s'enfouir (différents insectes, certains amphibiens en période hivernale...).

Amplitude du marnage*

Un marnage nul ou très faible empêche le développement de groupements végétaux liés à une exondation estivale de la berge, comme les groupements de grèves à Littorelle.

Un marnage important (plusieurs mètres) empêche le développement de la végétation amphibie, le degré hydrique de la berge étant trop variable.

Les valeurs de marnage favorables à la faune et à la flore des zones humides se situent entre 0,20 m et 1 m environ (marnage en période de développement de la végétation, de fin mars à septembre).

À partir de ces caractéristiques physiques, il est possible de concevoir des milieux aquatiques « types » à fortes potentialités d'accueil pour la faune et la flore, qui répondraient aux préconisations du tableau 5.

Tableau 5 Les facteurs physiques de milieux aquatiques et amphibies à fortes potentialités d'accueil

1. **Milieu en eau de façon permanente**

- berges en pente très douce (moins de 5° dans la zone de marnage*) sur au moins 30 % du linéaire de berges,
- berges en pente douce (15 à 5° dans la zone de marnage) sur au moins 30 % du linéaire de berges,
- haut-fond à substrat* meuble, subaffleurant en fin d'été, sur au moins 20 % de la surface d'eau de fin d'été,
- profondeur maximale de 5 m sur au moins 50 % de la surface (hors zones de haut fond),
- marnage, égal ou inférieur à 1 m, supérieur ou égal à 0,20 m.

2. **Milieu en eau de façon temporaire**

- milieu inondé jusqu'au début du mois de juin,
- berges en pente très douce (moins de 3°) sur au moins 30 % du linéaire de berges,
- berges en pente douce (10 à 3°) sur au moins 30 % du linéaire de berges.

Les facteurs chimiques jouent également un rôle important : teneur en éléments nutritifs (nitrates, phosphates...), en minéraux, pH, oxygène dissous. En carrière, les eaux sont généralement exemptes d'éléments nutritifs et sont peu minéralisées (eaux oligotrophes* ou mésotrophes*). Le pH est par contre variable. Il influe bien sûr sur la composition floristique des peuplements (cf. tableau 5) mais ne semble pas avoir d'effet direct sur les peuplements animaux pour les valeurs les plus fréquentes, comprises entre 5 et 9 (ENCEM, 2008).

Les milieux aquatiques ne sont utilisés par certaines espèces que durant une partie de leur cycle biologique (stade larvaire) : la majorité des amphibiens, divers insectes dont les odonates*, les éphéméroptères*, les plécoptères*, certains diptères* et coléoptères*, etc. La présence d'habitats associés, utilisés par ces animaux pendant leur phase terrestre, peut augmenter les potentialités d'accueil des habitats aquatiques, notamment pour les espèces à domaine vital réduit (amphibiens). On peut distinguer trois principaux types d'habitats associés :

- les substrats* minéraux meubles et les blocs rocheux, utilisés par différents amphibiens pour s'abriter : Crapaud calamite, Alyte accoucheur, Crapaud commun, Triton palmé... ;
- les milieux boisés assez denses et âgés, recherchés par les amphibiens « forestiers » comme la Salamandre tachetée, le Triton alpestre, les Grenouilles rousse et agile... Ces espèces aiment s'abriter en hiver dans les bois morts, les vieilles souches, la mousse... Ce type de boisement est peu fréquent en carrière mais se rencontre régulièrement sur les terrains non remaniés périphériques ;
- les lisières boisées (saules, arbustes pionniers*...), bien fréquentées par les odonates* qui y chassent et s'y reposent. Les expositions au sud sont à favoriser dans le nord et le centre de la France.

Ces habitats terrestres peuvent être localisés à proximité immédiate du milieu aquatique de reproduction ou être reliés à lui par des corridors biologiques (cf. § 4.3).

Figure 23 Vues de milieux aquatiques permanents et temporaires

Ci-dessus et ci-contre : vues sur des bassins permanents d'une carrière de grès de Saône-et-Loire. Le bassin ci-contre, même s'il n'est pas dépourvu d'intérêt, offre une surface de contact très limitée entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. La végétation amphibie occupe de ce fait une surface très réduite, alors qu'elle peut s'exprimer pleinement sur les berges peu pentues du bassin ci-dessus. Dans les deux cas, les dépôts meubles et les cavités constituent des zones d'abris pour les amphibiens. Les saules sont par ailleurs recherchés par des espèces comme la Rainette verte.*

Ci-dessous : vue sur des mares temporaires d'une zone anciennement décapée, sur une carrière de grès de la Manche.

4.5 L'entretien de la végétation

4.5.1 Définition

L'entretien de la végétation est un des moyens de gestion d'un milieu naturel. Si un plan de gestion a été établi, les modalités d'entretien de la végétation y sont définies, de façon plus ou moins précise, en fonction des objectifs recherchés (cf. § 3.4.1).

Les opérations d'entretien de la végétation sont destinées à gérer la végétation en place, généralement pour limiter son développement, parfois avec des objectifs précis (favoriser une espèce ou un habitat particulier). Les opérations de végétalisation sont traitées dans le paragraphe 4.6.

S'il n'est pas réalisé dans le cadre d'objectifs écologiques définis, l'entretien de la végétation est intégré dans les opérations courantes d'entretien de la carrière, comme par exemple la tonte des pelouses* à l'entrée de la carrière et la taille des arbustes d'ornement associés, ou la fauche des merlons. Elle devient une opération de **génie écologique*** si elle rentre dans le cadre d'une gestion conservatoire de la végétation ou de travaux de restauration* d'habitats.

L'entretien a un coût qui peut devenir important si les surfaces concernées sont grandes (cf. § 4.5.4). Pour limiter les opérations d'entretien, deux types de milieux peuvent être favorisés sur les carrières : *les milieux herbacés* ras de type pelouse, sur sol minéral compact, et *les milieux boisés*, sur sols meubles plus ou moins profonds.**

4.5.2 Les principales méthodes d'entretien de la végétation en carrière

Les méthodes d'entretien dépendent du **choix de gestion** (maintien de la végétation en place ou rajeunissement), du **type de formation végétale** (pelouse* calcicole*, fourré* à Ajonc d'Europe, saulaie, typhaie*...), des **caractéristiques physiques** du milieu (pente forte, front de taille, banquette submergée...) et **des moyens** dont dispose le gestionnaire. Le tableau 6 liste les principales méthodes décrites ci-après, par type de formation végétale.

Tableau 6 Principales méthodes d'entretien de la végétation

Méthode		Type de formation végétale
Absence d'entretien		Tout type de formation mais évolution plus ou moins rapide vers un stade boisé
Pâturage		Formations herbacées de type pelouse* et prairie, parfois sous-bois clairs, lisières herbacées...
Fauche		
Débroussaillage *lato sensu*	Débroussaillage	Formations herbacées denses (friches) et ligneuses* de faible hauteur (jusqu'à 4 m environ)
	Broyage	
Déboisement (abattage)		Formations ligneuses* arbustives et arborée (4 m et plus)
Curage et faucardage*		Formations aquatique et amphibie

Hormis le pâturage, toutes les méthodes proposées sont mécaniques. Les carrières sont des zones placées à l'abri des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides*, insecticides...) et il importe de conserver cette caractéristique essentielle pour le maintien de la biodiversité.

Deux types d'engins mécaniques sont utilisés :

- **les systèmes portés** qui correspondent au matériel léger, facilement transportable par un homme. Ils peuvent être manuels (faux, scie à main...) ou motorisés (débroussailleuse, tronçonneuse...),
- **les systèmes porteurs**, de type tracteur agricole.

Document de référence : *Connaître et gérer les pelouses calcicoles* (Maubert et Dutoit, 1995)

L'absence d'entretien

Ne pas intervenir sur la dynamique naturelle des écosystèmes* peut résulter d'un choix (cf. § 3.3) ou d'une contrainte, liée notamment à l'accessibilité réduite de certains milieux de carrière (front de taille, plan d'eau de fosse...).

Avantages de l'absence d'entretien

- **Coût très limité** (simple surveillance régulière).
- Espace de nature sauvage à dynamique naturelle (milieu rare en Europe).
- Absence d'impact sur les biocénoses*.

Inconvénient de l'absence d'entretien

- Aucune maîtrise de l'évolution des milieux naturels.

Le pâturage

Le pâturage est le premier mode d'exploitation traditionnelle des prairies. On distingue deux principaux types : le **pâturage fixe**, avec un troupeau qui « tourne » sur un nombre réduit de parcelles clôturées et/ou surveillées par un berger (dans les régions de bocage notamment), et le **pâturage itinérant** (ou pastoralisme), qui consiste à faire progresser un troupeau accompagné d'un berger sur de vastes pâtures, souvent peu productives (parcours à moutons), et qui inclut la notion de transhumance en région de montagne (déplacement des troupeaux entre les estives d'été et les pâturages d'hiver, parfois situés à plusieurs centaines de kilomètres).

C'est le pâturage qui se rapproche le plus de la forme naturelle de maintien des espaces herbacés* ouverts par les herbivores sauvages. C'est une méthode souvent utilisée pour la gestion des milieux naturels, qui nécessite cependant des connaissances précises pour définir le choix des animaux, la pression et la période de pâturage. À notre connaissance, pour ce qui concerne les carrières, le pâturage n'est utilisé que sur quelques sites anciens ou remis en état. Ce mode de gestion pourrait être mis en place sur les remblais qui couvrent parfois des surfaces importantes en périphérie des carrières en activité.

Avantages du pâturage

- **Méthode naturelle, peu perturbante pour la faune.**
- Méthode d'entretien des formations herbacées*, mais également de la végétation ligneuse* basse.
- Méthode assez modulable (pression de pâturage, choix des animaux).
- Méthode assez simple sur des milieux banals.
- **Méthode applicable sur des terrains accidentés et des pentes fortes, sur de grandes surfaces.**

Inconvénients du pâturage

- **Méthode complexe pour la gestion d'espèces ou d'habitats sensibles.**
- **Association indispensable avec un tiers (agriculteur ou association).**
- Méthode peu sélective vis-à-vis des espèces végétales.
- Enrichissement du milieu en azote.

Préconisations pour limiter les inconvénients du pâturage

- Établir une convention avec un agriculteur proche de la carrière, en concertation avec une structure naturaliste.

Document de référence :
La Gestion écologique par le pâturage : l'expérience des réserves naturelles (Réserves naturelles de France, 1995).

- ***Préparation des terrains à pâturer***

En fonction de l'état initial des terrains, il peut être nécessaire d'opérer une phase de restauration préalable à la mise en place du pâturage. Celle-ci consiste généralement en une fauche/débroussaillage ou en un broyage selon le degré de fermeture du milieu.

- ***Le choix des animaux*** dépend des critères physiques (topographie, humidité...) et biologiques de la zone à gérer (habitats naturels), chaque espèce ayant un comportement alimentaire spécifique.

Tableau 7 **Pâturage : intérêt des espèces suivant le milieu naturel concerné** (Colas S. et *al*, 2000)

	Pelouses* sèches	Parcours ovins méditerranéens	Landes* océaniques	Prairies* inondables	Tourbières* et marais
Bovins					
Équins		(ânes)			
Ovins					
Caprins					

Très intéressant Intéressant

Tableau 8 **Pâturage : principaux avantages et inconvénients des différentes espèces** (d'après Janssens & Peters, 1998)

	Avantages	Inconvénients
Bovins	- Ne consomment pas préférentiellement les fleurs (atout pour un pâturage estival). - Consomment beaucoup de biomasse* morte, ce qui est favorable à l'établissement d'une flore diversifiée (augmentation de la décomposition de la matière organique). - Plus performants que les équins pour digérer les fourrages de mauvaise qualité. - Piétinement créant des niches de régénération favorables à certaines plantes et invertébrés.	- Nécessité de traitements vermifuges et de compléments alimentaires avec minéraux.
	- Irrégularité dans le pâturage pouvant créer une diversité de microhabitats favorable à la biodiversité végétale mais aussi animale (insectes, reproduction d'oiseaux, reptiles...). - Moins de risques de faire régresser certaines espèces vulnérables.	- Irrégularité du pâturage pouvant créer des zones de refus avec des espèces végétales envahissantes (joncs, chardons...).
Equins	- Perturbation au sol intermédiaire entre bovins et ovins. - Sélection alimentaire forte, qui crée une mosaïque de végétation.	- Utilisation inégale de la végétation qui peut favoriser certaines espèces peu désirables. - Concentration des excréments sur des secteurs non pâturés qui favorisent le développement d'espèces rudérales*.
Ovins	- Terrains pauvres et accidentés. - Facilité de gestion du troupeau.	- Formation de ravinements dus aux passages répétés des animaux. - Nécessité de traitements sanitaires.
Caprins	- Complètent le travail des ovins par exemple en consommant les jeunes pousses de ligneux*, ce qui évite un développement trop important de la strate arbustive.	- Tendance à consommer préférentiellement certains végétaux.
Mixité	- Évite une banalisation de la flore. - Exploitation d'un espace plus vaste (pâturage moins intensif, mais dépend du chargement). - Diminution des risques d'infestation par les parasites.	- Augmentation du risque de voir des espèces vulnérables ou à conserver broutées par les animaux, et diminution de zones hautes délaissées par les animaux utiles à certains insectes ou oiseaux.

Figure 24 Pâturage équin sur une ancienne carrière du PNR des Boucles de la Seine normande

Cette ancienne carrière de craie abrite un front de taille de grande hauteur (ci-dessus, à gauche), en partie remblayé (pentes fortes en second plan). Le carreau est occupé par une mare et des boisements pionniers. Le pâturage par des chevaux et des ânes est adapté aux pentes fortes et rocailleuses du remblai. Il permet de limiter le développement des végétations ligneuse* (troncs de bouleau écorcés) et amphibie (massettes pâturées dans la mare).*

- ***Période et pression de pâturage***

Les périodes de pâturage dépendent des objectifs de gestion. Par exemple, sur une pelouse* calcicole*, l'effet du pâturage en fonction des saisons est le suivant :

- **pâturage hivernal** d'ovins et caprins afin de limiter le développement des arbustes et des repousses,
- **pâturage printanier** permettant de réduire la biomasse* de graminées sociables* (Brachypode penné en particulier),
- **pâturage d'automne** favorisant la biodiversité végétale et les orchidées notamment.

Figure 25 Pâturage hivernal d'ovins sur une ancienne carrière du Calvados envahie par les fourrés

La pression de pâturage joue également un rôle. Toujours dans le cas de pelouses* calcicoles*, le pâturage **extensif** par des ovins est la forme de gestion la plus valorisante et la plus adaptée au maintien de l'habitat. Cependant, en cas d'envahissement par le Brachypode penné, la méthode la plus efficace demeure le *Blitz grazing*, qui consiste à opérer une forte pression de pâturage durant un laps de temps court et deux années de suite, suivie de deux années sans pâturage qui permettent au milieu de se régénérer. La mise en place d'un pâturage extensif s'opérera donc seulement au terme de la quatrième année.

- ***Contraintes liées à l'utilisation d'animaux***

- Visites régulières du cheptel.
- Mise en place de clôtures et entretien (plus parc de contention, abris, abreuvoir et râtelier).
- Soins au bétail (traitements antiparasitaires, visites vétérinaires...).
- Alimentation complémentaire et fourniture en eau.
- Assurances spécifiques.
- Zones de transit et de logement disponibles (pâturages annexes, écuries...).
- Enlèvement des animaux morts (reproduction, vente, équarrissage...).

Les ravages de certains helminthicides*

Couramment utilisés pour vermifuger le bétail, certains helminthicides* comme l'ivermectine sont très toxiques pour la faune. Se retrouvant logiquement dans les fèces* des animaux, ils ont un impact très négatif à la fois de **manière directe** (ils intoxiquent les invertébrés décomposeurs et notamment les insectes coprophages* qui eux-mêmes servent de proies à de nombreux organismes : Chouette chevêche, Pie-grièche écorcheur...), mais également de **manière indirecte** puisque les excréments qui ne sont plus décomposés et recyclés vont s'accumuler sur les zones pâturées et tendre à altérer les peuplements végétaux. Il est donc important de limiter les traitements aux doses prescrites et d'utiliser le plus possible les molécules les moins nocives à l'environnement. À noter que pour certaines espèces très rustiques ou pour des animaux en fin de vie, l'utilisation de vermifuges est très restreinte, voire inexistante.

À noter enfin que des **aides financières** peuvent être apportées dans le cas de mise en place de pâturages extensifs à vocation écologique (Mesure CTE 2001D01 « Gestion extensive de la prairie par la fauche et ou pâturage avec suppression de la fertilisation et chargement compris entre 0,5 et 1 UGB/ha/an »).

La fauche

La fauche est une méthode traditionnelle d'exploitation des prairies agricoles, essentiellement destinée à la récolte de fourrage pour l'alimentation du bétail en période hivernale. Elle permet le maintien de formations végétales spécifiques, les prairies de fauche, qui sont donc des milieux liés à une forte pression anthropique*, susceptibles d'abriter une faune et une flore diversifiées dans le cas de prairies permanentes.

Il existe de nombreuses techniques de fauche, soit avec des systèmes porteurs (tracteur agricole équipé d'une faucheuse, quad avec broyeur, motofaucheuse...), soit avec du matériel porté (faux, débroussailleuse... ; cf. tableau 9). La fauche *stricto sensu* ne concerne que des formations herbacées. Si le milieu est hétérogène, il est souvent nécessaire d'utiliser un broyeur, plus adapté à la coupe des pousses ligneuses* (cf. § Le broyage).

La fauche est peu utilisée dans les carrières. On l'observe surtout sur les vastes remblais qui sont gérés comme des prairies de fauche.

Tableau 9 **Méthodes de fauche de pelouses calcicoles en fonction du milieu** (d'après Maubert et Dutoit, 1995)

Pentes	Présence de cailloux	Méthode préconisée
nulle	faible	Tracteur + faucheuse et rateleuse (faneuse) ou tondeuse – ramasseuse pour exporter les coupes
moyenne	faible	Débroussailleuse autotractée, ratelage et ramassage manuel
importante	faible	Tondeuse sur coussin d'air + ratelage et ramassage manuel ou Débroussailleuse à fil nylon + ratelage et ramassage manuel
toutes	importante	Débroussailleuse à fil nylon + ratelage et ramassage manuel

Figure 26 Travaux de fauche mécanique

Avantages de la fauche

- Coût faible avec du matériel agricole.
- **Méthode simple** et bien adaptable aux contraintes de gestion (période et localisation de la fauche).
- Méthode applicable sur des pentes assez fortes en travail manuel (mais sur des surfaces réduites).
- A la différence du broyage, permet l'exportation des végétaux coupés (pour éviter l'enrichissement du substrat* en éléments nutritifs).

Inconvénients de la fauche

- Méthode peu sélective vis-à-vis des espèces (risque d'impact sur la flore et la faune en fonction de la période et du nombre de passages).
- **Méthode inadaptée aux terrains accidentés ou fortement pentus sur de grandes surfaces.**
- Méthode qui nécessite de retirer les herbes fauchées si l'on veut conserver un substrat pauvre et ainsi réduire la fréquence de l'entretien.

Préconisations pour limiter les inconvénients de la fauche

- **Fauche tardive**, après la période de fructification des végétaux et de reproduction des animaux (oiseaux nichant au sol, nombreux insectes). Selon les milieux et les régions, cette période s'étale de fin juillet (sud) à fin septembre. Des adaptations peuvent cependant être nécessaires :
    - si le milieu est riche en orthoptères*, il est conseillé soit d'attendre la mi-octobre pour faucher, soit de pratiquer une fauche haute (30 cm) par temps humide ;
    - en cas de dominance d'espèces vivaces sociales comme le Brachypode penné, une fauche de printemps (avant l'accumulation dans les organes de réserve) est recommandée ;
    - en cas de dominance de plantes annuelles et bisannuelles des friches, une fauche avant la montée en graine est conseillée, c'est-à-dire dans le courant du mois de juin.
- **Fauche en mosaïque**, sur une partie seulement des terrains à une date donnée, puis un mois plus tard ou l'année suivante sur le reste (il faut alors repérer les terrains à faucher). La forme de la mosaïque dépend du milieu : s'il est homogène, la mosaïque peut être constituée d'une alternance de bandes de 10 m de large. En cas de juxtaposition de formations végétales distinctes (prairie sèche, prairie humide, friche, pelouse...), il est préférable d'essayer de ne faucher que la moitié de chaque formation.
- **Fauche centrifuge**, en commençant par le centre de la parcelle, à une vitesse réduite (15 km/h maximum), ce qui permet aux animaux de s'enfuir vers l'extérieur au fur et à mesure de l'avancée du tracteur. Des zones non fauchées sont conservées en périphérie. À défaut, une fauche par bandes peut être réalisée. La fauche centripète (vers le centre de la parcelle) est déconseillée.
- **Exportation des produits de la fauche**, sauf s'il est nécessaire d'enrichir le milieu en azote. Si possible, laisser les herbes fauchées sur place quelques jours pour éviter d'exporter trop de larves d'insectes. Les herbes peuvent également être stockées sur un petit secteur de la parcelle où elles formeront du compost.
- **Fréquence de fauche réduite** à une fauche annuelle, voire une fauche tous les deux ans, sauf cas particulier (nécessité de restaurer un milieu en voie d'embroussaillement par les ronces, par exemple).

Le broyage

Le **broyage** est une méthode d'entretien des formations herbacées* qui n'ont pas d'intérêt fourrager (friches) et des formations ligneuses* basses. Il se pratique souvent avec un tracteur auquel est attelé un broyeur, machine équipée de fléaux, de chaînes ou de lames qui déchiquètent les végétaux en petits éléments (on distingue les broyeurs à axe horizontal des gyrobroyeurs à axe vertical). Il s'agit donc d'une technique voisine de la fauche, mais adaptée à des végétaux ligneux. À la différence de la fauche, les végétaux broyés sont difficilement récupérables et restent donc sur place.

Figure 27 Travaux de broyage mécanique

Avantages du broyage

- **Méthode adaptée à de grandes surfaces.**
- Coût assez faible avec du matériel agricole.

Inconvénients du broyage

- Méthode nécessitant du matériel spécifique.
- **Méthode peu sélective vis-à-vis des espèces** (risque d'impact sur la flore et la faune en fonction de la période et du nombre de passages).
- Méthode non adaptée à des pentes fortes et des terrains accidentés.
- Méthode enrichissant le substrat* en éléments nutritifs (déchets difficilement récupérables).
- Risque de repousses vigoureuses délaissées par le bétail.

Préconisations pour limiter les inconvénients du broyage

- **Broyage en période hivernale.**
- **Broyage en mosaïque**, sur une partie seulement des terrains la première année, puis sur le reste la ou les années suivantes.

Le débroussaillage (*stricto sensu*)

Le débroussaillage intéresse surtout des **formations ligneuses* de faible hauteur** constituées de sous-arbrisseaux (< 50 cm : Callune, Genêt poilu, ronces...) et d'arbrisseaux (1 à 4 m : Genêt à balais, Troène commun, Prunellier...), ainsi que de lianes, de pousses d'arbustes et d'arbres.

Il est réalisé à l'aide de matériel porté, souvent motorisé (débroussailleuse thermique à dos équipée de couteaux ou de lames métalliques pouvant réaliser des coupes jusqu'à 10 cm).

Le débroussaillage est parfois manuel, à l'aide de sécateurs, scies et faucilles, notamment sur des milieux à la topographie accidentée. Dans les deux cas, les végétaux sont coupés à la base, sans être déchiquetés.

La période d'intervention courante est l'hiver, de manière à pouvoir mieux repérer les souches.

Figure 28 Débroussaillage d'une lande

Coupe de touradons de molinie à l'aide d'une débroussailleuse à lame.

Avantages du débroussaillage

- **Méthode simple.**
- Méthode partiellement sélective vis-à-vis des espèces (période et localisation du débroussaillage).
- **Méthode applicable sur des pentes assez fortes et des terrains accidentés** (mais sur des surfaces réduites).

Inconvénients du débroussaillage

- Coût assez élevé.
- Méthode adaptée à des surfaces réduites (0,4 à 4 ha/jour/personne en fonction de la densité de la végétation).
- Risque d'impact sur la flore (en fonction de la période et du nombre de passages).
- Risque de mortalité pour la faune (en fonction de la période et du nombre de passages).
- Nécessite l'exportation des végétaux coupés (pour éviter l'enrichissement en éléments nutritifs).

Préconisations pour limiter les inconvénients du débroussaillage

- **Débroussaillage en période hivernale**, ou débroussaillage en hauteur (30 cm) si réalisé en période printanière ou estivale.
- **Débroussaillage en mosaïque**, sur une partie seulement des terrains la première année, puis sur le reste la ou les années suivantes.
- **Exportation des produits de la coupe.**
- **Fréquence de débroussaillage réduite** à une intervention tous les deux ou trois ans, voire plus, sauf cas particulier.

Le déboisement (= abattage)

Sur une carrière, le déboisement vise à reconstituer les milieux ouverts d'origine. Il concerne les formations arbustives et arborées (saulaie, bétulaie*, chênaie...). On peut distinguer deux principales méthodes : la coupe simple et l'arrachage.

La coupe est généralement réalisée à l'aide d'une tronçonneuse. Sur un nombre d'arbres réduits, on peut utiliser la technique du cerclage, qui consiste à pratiquer une entaille sur toute la circonférence du tronc pour empêcher la sève de circuler. Dans les deux cas, des rejets formeront rapidement de nouveaux troncs en l'absence d'entretien.

L'arrachage consiste à retirer le tronc et les racines (la souche) afin d'éviter les rejets. Sur une carrière en activité, l'utilisation d'une pelle mécanique est la solution la plus simple. Sur un site inexploité, sans engin mécanique, il faut creuser une tranchée au niveau des racines principales pour les couper.

Dans les deux cas, le débardage des troncs coupés est nécessaire. Il peut se faire à la main pour des arbres de taille réduite. Du bois mort, favorable à de nombreux animaux (insectes xylophages*, amphibiens...) et champignons, peut cependant être laissé sur place localement.

Avantages de la coupe	Avantages de l'arrachage
- Méthode adaptée à de grandes surfaces. - Méthode adaptée à des terrains accidentés. - Méthode simple. - Faible perturbation au niveau du sol (strate herbacée). - Méthode adaptée aux essences ne rejetant peu ou pas (conifères). - Volume de bois coupé (rémanents) plus faible qu'avec l'arrachage.	- **Absence de rejets.** - Diversification de la topographie et des habitats. - Absence d'embûches (restes de tronc) en cas de fauche des terrains déboisés.

Inconvénients de la coupe	Inconvénients de l'arrachage
- **Nécessité d'entretenir les rejets** (fauche, pâturage...).	- Coût important. - Volume de bois (rémanents) et de souches important. - Perturbation assez importante du milieu. - Méthode nécessitant des moyens mécaniques ou humains importants.

Figure 29 Arrachage de saules dans une lande

L'arrachage est souvent le seul moyen efficace de limiter l'envahissement par les saules.

Les multiples dépressions ainsi formées sont souvent favorables aux amphibiens et à diverses espèces aquatiques.

Figure 30 Le cheval au secours de la Spiranthe d'été. Restauration d'une carrière des Deux-Sèvres.

Une petite carrière de roche volcanique des Deux-Sèvres, exploitée à flanc de coteau et arrêtée depuis une vingtaine d'années, abrite désormais une richesse écologique de premier ordre, avec notamment 17 espèces à forte valeur patrimoniale. Parmi elles la Spiranthe d'été, une orchidée très rare et protégée à l'échelon national et européen, forme ici l'une des plus importantes stations française, et même européenne, au niveau d'un carreau humide sur lequel persiste une lame d'eau durant l'hiver.

À la suite de cette découverte, deux associations naturalistes locales se sont investies auprès du carrier propriétaire des lieux afin d'effectuer un suivi écologique régulier du site, dans le cadre d'un partenariat. Au vu de la fermeture progressive du carreau par les saules et les aulnes, des mesures de protection et de gestion du milieu ont été rapidement proposées par les deux associations. Une opération concertée de restauration du milieu a eu lieu en novembre 2007, comptant une trentaine de bénévoles des diverses associations.

Sur les recommandations des deux structures naturalistes, les bénévoles aidés d'un cheval de trait (appartenant à une autre association) ont conduit plusieurs opérations complémentaires :

- ***dessouchage et arrachage** de la végétation ligneuse* qui a envahi le carreau. L'utilisation du cheval a permis de réduire fortement le remaniement qui aurait été provoqué par un engin, même de taille réduite, sur les stations de Spiranthe d'été,*
- ***élimination d'une espèce envahissante**, l'Herbe de la Pampa,*
- ***débroussaillage** des ronciers et arrachage des roseaux (phragmites),*
- ***décapage expérimental** de certaines zones pour tester la recolonisation, notamment par les orchidées.*

En termes de développement durable, il est intéressant de noter l'intérêt à la fois écologique et économique de l'utilisation du cheval de trait et le recyclage des végétaux extraits dans la restauration de berges de cours d'eau par un syndicat de rivière.

Vue du haut : carreau de la carrière avant le chantier. Le recouvrement important par les arbustes (aulnes et saules) et les roseaux tend à fermer le milieu et menace les orchidées (Epipactis des marais et Spiranthe d'été).

Vue du bas : après le chantier (décembre 2007), le carreau a retrouvé une physionomie de milieu ouvert. L'arrachage des plus gros arbres a créé des micro-dépressions qui pourront être favorables à la diversité végétale et animale.

Novembre 2007. Le chantier combine les arrachages manuels et les dessouchages par le cheval de trait. Les branchages et résidus végétaux sont exportés par le cheval hors du site puis transférés au syndicat de rivière local qui réutilise les matériaux pour la restauration de berges de cours d'eau.

Photographies et données naturalistes : Association Deux-Sèvres nature environnement

Le curage et le faucardage*

Les milieux aquatiques et amphibies des carrières peuvent nécessiter un entretien de leur végétation, notamment si un atterrissement se produit par accumulation de matière organique.

Pour les bassins en eau de façon permanente, la méthode couramment utilisée sur les carrières en activité est le **curage** à la pelle mécanique. Les préconisations pour limiter l'impact de ces travaux sur la faune et la flore sont les suivantes :

- **intervenir préférentiellement en début d'automne** (septembre et octobre), période durant laquelle les milieux aquatiques ne sont plus utilisés pour la reproduction (odonates*, amphibiens...) et pas encore pour l'hibernation des amphibiens. Éviter d'intervenir de janvier à août ;

- **éviter d'intervenir sur l'ensemble du bassin** la même année : répartir les travaux de curage par tranches, sur deux ou trois années (voire plus), en fonction de la taille du bassin ;

- utiliser éventuellement une partie des produits de curage pour amorcer la végétalisation de nouveaux bassins.

Pour les mares temporaires, un curage du centre de la dépression peut être réalisé avec la même technique et selon les mêmes modalités. Le **faucardage*** (= fauchage) de la végétation amphibie périphérique peut être pratiqué avec du matériel porté, à l'aide d'une débroussailleuse thermique ou d'une serpe, toujours en dehors de la période de reproduction et en conservant une partie de la végétation. Un faucardage* répété chaque année entraînera une régression de la végétation amphibie.

4.5.3 Autres méthodes d'entretien de la végétation

Il existe d'autres méthodes, directes ou indirectes, d'entretien de la végétation, peu utilisées ou auxquelles on ne pense pas :

Le brûlis est une méthode traditionnelle d'entretien des pelouses* sèches et des landes*, qui n'est plus guère utilisée aujourd'hui. Elle nécessite une très bonne maîtrise de la gestion d'un feu courant et présente plusieurs inconvénients pour les milieux (extension des plantes résistantes au feu comme la Molinie ou la Fougère aigle, risque de destruction de la banque de graines du sol...). Cette méthode est par ailleurs réglementée au niveau départemental. Rappelons que le brûlage est interdit sur les carrières en activité.

La gestion du niveau d'eau, si elle possible, peut permettre de faire régresser des populations de plantes hygrophiles* devenant envahissantes, en asséchant ou en ennoyant le milieu durant une ou deux années. Cette méthode présente cependant le risque de faire disparaître simultanément la flore et la faune associées. Elle est applicable au niveau de carreaux ou de banquettes maintenus exondés (ou inondés) par pompage des eaux d'exhaure*.

Le pâturage naturel

Les herbivores sauvages (Chevreuil, Lièvre d'Europe...) ont une action non négligeable sur la végétation si les populations sont conséquentes.

C'est le cas notamment du **Lapin de garenne** dont le rôle dans le maintien des milieux ouverts (pelouses*, prairies*...) est bien connu des gestionnaires de milieux naturels. Cette espèce est bien présente en carrières de roches massives (63 % des sites ; ENCEM, 2008), la présence de dépôts de substrats* meubles (merlons de terre végétale, stocks de matériaux fins...) étant favorable au creusement de ses terriers.

Cette espèce peut éventuellement être favorisée par l'installation de garennes artificielles si les milieux favorables sont trop réduits sur la carrière. Sur le principe, une garenne peut être aménagée en recouvrant un tas de souches ou de branchages avec de la terre végétale légère qui sera elle-même recouverte de débris végétaux. Pour plus de détails, consulter la plaquette « Le Lapin de garenne. Éléments techniques pour un repeuplement efficace » *(http://www.fdc35.com/telechargement/plaquette-lapin.pdf).*

Figure 31 Ajonc d'Europe abrouti par des lapins

Il faut cependant savoir que le propriétaire de terrains abritant une population de lapins peut être responsable des dégâts occasionnés par cette population sur des cultures si les lapins sont insuffisamment chassés et donc en surnombre par rapport aux populations des fonds environnants (Cass. Civ. 2ème 15-12-1975 pour la responsabilité en cas de surdensité des populations). La mise en cause du propriétaire du fond se fait devant le juge d'instance, par l'agriculteur victime, dans le délai maximum de 6 mois calculé à compter de la date d'apparition des dégâts. Le juge peut nommer un expert pour constater les dégâts.

4.5.4 *Évaluation des coûts d'entretien de la végétation*

Le tableau 10 transcrit en euros/ha le coût des opérations de gestion calculé en 2000 à partir de données récoltées sur 233 opérations (Colas, Hébert *et al.*, 2000). Le coût horaire utilisé est de 10,6 € (SMIC horaire en 2000).

Tableau 10 **Coûts en €/ha des opérations unitaires de gestion par cas-type** (d'après Colas, Hébert *et al.*, 2000)

Cas-types	Tout milieu			Landes* océaniques		Pelouses*				Prairie* humide (bonne portance)	
	Abattage					Débroussaillage		Fauche			
	Recouvrement			Débrous-saillage	Fauche	Pente nulle à moyenne	Pente forte à très forte	Pente nulle à moyenne	Pente forte à très forte	Débrous-saillage	Fauche
	0 -30 %	30 -60 %	> 60 %								
1. Coupe manuelle				**1040**		**400**	**640**	**350**	**550**	**430**	**340**
2. Coupe agricole				**270**	**180**	**220**	**220**	**130**	**130**	**180**	**40**
3. Coupe spécialisée				**800**		**350**	**350**			**310**	**100**
4. Coupe et conditionnement manuel				**1430**		**740**	**980**	**640**	**840**	**680**	**440**
5. Coupe et conditionnement semi-motorisé-manuel						**840**	**840**	**380**	**380**		**150**
6. Coupe et conditionnement agricoles				**650**	**340**			**390**	**390**	**210**	**110**
7. Coupe et conditionnement spécialisés										**450**	**240**
8. Coupe et évacuation manuelles						**570**	**810**	**660**	**860**	**780**	**710**
9. Tout manuel	**740**	**1100**	**1330**			**900**	**1150**	**950**	**1150**	**1030**	**810**
10. Mixte manuel-agricole	**860**	**1230**	**1460**	**1600**				**770**	**980**	**470**	**450**
11. Mixte semi motorisé-manuel						**1010**	**1010**	**690**	**690**		**520**
12. Tout agricole				**830**	**360**			**550**	**550**	**220**	**150**
13. Tout spécialisé	**890**	**1370**	**2100**							**660**	**360**

Le conditionnement *correspond au rassemblement et à la mise en tas des produits de la coupe. Les opérations 9 à 13 comprennent la coupe, le conditionnement et* ***l'évacuation*** *des produits.*

On constate que le coût des **opérations mécaniques** réalisées avec du matériel agricole (système porteurs) est globalement nettement plus faible que celui des opérations manuelles (systèmes portés) : le coût avec du matériel agricole est compris entre 40 €/ha (simple fauche de prairie) et 840 €/ha (débroussaillage complet de lande*, avec évacuation des produits) alors que celui des opérations manuelles se situe, pour les mêmes opérations, entre 340 €/ha et 1 600 €/ha.

Le coût du matériel spécialisé, réservé à des travaux en conditions difficiles, est le plus élevé.

Pour le pâturage, les charges moyennes étaient estimées en 2000 à 150 €/ha/an par les mêmes auteurs. Les produits (vente d'animaux de boucherie) étaient estimés entre 0 et 80 €/ha, avec une moyenne de 50 €/ha, ce qui ramenait le coût moyen de la gestion par pâturage à une valeur de l'ordre de 100 €/ha.

4.5.5. Bilan des avantages et inconvénients des principales méthodes d'entretien

Le tableau 11 hiérarchise les avantages et les inconvénients des principales méthodes d'entretien selon trois niveaux : intérêt fort , intérêt moyen et intérêt faible .

Tableau 11 **Avantages et inconvénients des principales méthodes d'entretien de la végétation des milieux ouverts et des fourrés**

	Coût modéré	Méthode simple à mettre en œuvre	Impact limité sur la faune et la flore	Méthode adaptée aux pentes fortes et terrains accidentés	Méthode adaptée à de grandes surfaces peu pentues et peu accidentées	Méthode efficace
Absence d'entretien						
Pâturage						
Fauche manuelle						
Fauche mécanique						
Débroussaillage						
Broyage						

4.5.6 La limitation des espèces végétales invasives

Sur un territoire donné, les espèces végétales étrangères à ce territoire et qui étendent leur population naturellement sont dites naturalisées. Parmi les espèces *naturalisées* d'un territoire, sont dites **invasives** *« celles qui par leur prolifération dans des milieux naturels ou semi-naturels y produisent des changements significatifs de composition, de structure et/ou de fonctionnement des écosystèmes »* (Cron et Fuller, 1996 *in* Muller S. (coord.), 2004).

Une liste de 61 espèces invasives avérées, 65 espèces invasives potentielles et 91 espèces à surveiller a été établie en 1999 (Aboucaya, 1999 *in* Muller (coord.), 2004).

Le tableau 12 liste les 16 espèces invasives recensées sur l'échantillon de 35 carrières de roches massives étudié en 2004 et 2005 (ENCEM, 2008), avec le nombre d'occurrences.

Tableau 12 **Espèces végétales invasives avérées et potentielles de l'échantillon de 35 carrières** (ENCEM, 2008)

Nom français	Nom scientifique	Nombre de sites
Espèces invasives avérées		
Robinier faux-acacia	*Robinia pseudacacia*	**16**
Vergerette du Canada	*Conyza canadensis*	**15**
Buddleia du père David (Arbre à papillons)	*Buddleia davidii*	**7**
Séneçon du Cap	*Senecio inaequidens*	**5**
Vergerette de Sumatra	*Conyza sumatrensis*	**3**
Onagre bisannuelle	*Oenothera biennis*	**3**
Ambroisie à feuilles d'armoise	*Ambrosia artemisiifolia*	**1**
Aster de la Nouvelle-Hollande	*Aster novi-belgii*	**1**
Herbe de la Pampa	*Cortaderia selloana*	**1**
Paspale dilaté	*Paspalum dilatatum*	**1**
Renouée du Japon	*Reynoutria japonica*	**1**
Solidage du Canada	*Solidago canadensis*	**1**
Sporobole d'Inde	*Sporobolus indicus*	**1**
Espèces invasives potentielles		
Vergerette annuelle	*Erigeron annuus*	**8**
Jonc grêle	*Juncus tenuis*	**6**
Vergerette à fleurs multiples	*Conyza floribunda*	**2**

On constate qu'il ne s'agit que d'espèces terrestres : les milieux aquatiques des carrières de roches massives ne semblent pas favorables aux espèces invasives, dont certaines sont pourtant désormais abondantes localement (jussies).

Les espèces invasives sont souvent des espèces pionnières* favorisées par le remaniement des substrats* (perturbations*). Les carrières constituent donc des milieux potentiellement favorables à leur installation, au niveau de substrats* secs ou frais, souvent meubles, minéraux ou organiques : merlons, stocks de terre végétale, remblais récents de matériaux stériles, substrats sablonneux ou caillouteux... Certaines espèces peuvent se développer dans des anfractuosités de fronts de taille (Buddleia, Séneçon du Cap, Sporobole d'Inde...).

L'éradication des espèces invasives sur une carrière est difficile, les substrats meubles et remaniés y couvrant des surfaces importantes (la mince pellicule d'argile qui recouvre le substratum* rocheux des carreaux suffit au développement de certaines espèces).

Différentes techniques sont mises en œuvre dans les milieux naturels pour limiter leur expansion : contrôle manuel et mécanique (arrachage, fauche, débroussaillage...), contrôle chimique (herbicides), contrôle biologique (insecte, champignon...), contrôle écologique (arrêt des perturbations et renaturation des milieux).

Sur les carrières en activité, seul l'arrachage manuel semble éventuellement envisageable pour des espèces vivaces faciles à identifier comme le Buddleia (ou arbre à papillons). Cet arbuste est l'une des espèces les plus fréquentes sur les carrières où elle forme parfois des peuplements importants, notamment dans le sud-ouest de la France. L'arrachage périodique des jeunes pieds permet d'éviter un envahissement de la carrière dans les régions où les populations sont importantes.

Sur les secteurs devant être remis en état, si la carrière est particulièrement exposée à un risque d'invasion par une espèce, il est préférable de limiter au maximum les substrats meubles, en favorisant les milieux strictement rocheux et les substrats fortement compactés.

Sur les substrats restant meubles, la mise en place d'une couverture végétale dense limite l'installation des plantes invasives (semis de plantes herbacées* ou plantation ; cf. § 4.6).

Figure 32 **Peuplement de Buddleia sur le carreau remis en état d'une carrière calcaire de Dordogne**

Figure 33 Quelques espèces végétales invasives fréquentes sur les carrières de roches massives

1. *Robinier faux-acacia en fleur (mai)*
2. *Peuplement de Vergerette du Canada en fleur (septembre)*
3. *Pied de Vergerette du Canada en fleur (septembre)*
4. *Inflorescences de Buddleia (juillet)*
5. *Fleur de Séneçon du Cap (septembre)*
6. *Pied de Séneçon du Cap en fleur (septembre)*
7. *Fleurs et fruits d'onagre (août)*

4.6 Les travaux de végétalisation

Ce paragraphe traite de la ***végétalisation dirigée***, c'est-à-dire l'installation d'une couverture végétale à l'aide de techniques diverses, par opposition à la ***végétalisation spontanée*** qui résulte d'une colonisation naturelle d'un substrat* par les plantes (à partir de graines et propagules* issues de la périphérie ou contenues dans le sol) selon une dynamique propre à chaque substrat*.

Les principaux avantages de la végétalisation dirigée sont présentés dans le tableau 13, en regard de leur utilité pour l'exploitant. Nous ne traitons pas ici des végétalisations dirigées visant à la création de peuplements forestiers de production ou de terrains agricoles, ces sujets faisant l'objet de documents spécifiques :

Documents de référence :
- *Réaménagements forestiers des carrières de granulats (Vanpeene-Bruhier, 2003)*
- *Réaménagements agricoles des carrières de granulats (Vanpeene-Bruhier, 2002)*

Tableau 13 Avantages et utilité d'une végétalisation dirigée

Avantages	Utilité
Mise en place ***rapide*** d'une couverture végétale ***dense***.	**1. Paysage** : verdissement de surfaces minérales présentant un impact visuel ou mise en place d'écrans végétaux limitant la perception d'éléments minéraux ou industriels. **2. Stabilisation du substrat*** : lutte contre l'érosion des sols (ravinement de talus de remblais).
Mise en place d'un ***type particulier*** de végétation.	Répondre au souhait du propriétaire des terrains, voire d'une collectivité locale ou d'une administration.
Mise en place d'un ***habitat naturel*** nécessaire à l'accueil d'une ***faune spécifique.***	Il peut s'avérer utile de créer des habitats indispensables à la reproduction ou simplement à l'alimentation de certaines espèces animales, comme une roselière à Phragmite* pour la nidification de certaines fauvettes paludicoles*, une prairie riche en plantes nectarifères pour des espèces de papillons ou une jachère* pour l'Oedicnème criard.

Cependant, la végétalisation dirigée présente un certains nombre d'inconvénients biologiques et écologiques rappelés dans le tableau 14. Un ensemble de **solutions, dont certaines dites alternatives**, sont proposées pour réduire ces inconvénients. Ce sont ces modalités de végétalisation alternative (ou « écologique ») qui constituent ensuite l'essentiel de ce paragraphe.

Tableau 14 Inconvénients d'une végétalisation dirigée et solutions alternatives

Inconvénients	Solutions alternatives
Empêche partiellement ou totalement la colonisation spontanée, notamment par des espèces végétales (voire animales) à forte valeur patrimoniale.	Limiter en surface les secteurs à végétalisation dirigée et les limiter à des milieux possédant de faibles potentialités écologiques.
Perturbe et accélère la dynamique de colonisation en entraînant une fermeture rapide des secteurs végétalisés.	Limiter en surface les secteurs à végétalisation dirigée et utiliser la terre végétale de façon modérée.
Risque de pollution génétique par introduction d'éléments étrangers au site et à la région (notion d'écotype*).	Utiliser des techniques de végétalisation alternative, présentées ci-après.
Artificialisation du site par introduction d'espèces étrangères au paysage rural régional.	Être attentif au choix des espèces introduites.
Banalisation du site par réduction de la diversité floristique.	Utiliser des techniques de végétalisation alternative présentées ci-après. Être attentif au choix des espèces introduites.
Coûts de mise en place et d'entretien importants.	Limiter en surface les secteurs à végétalisation dirigée et utiliser la terre végétale de façon modérée.
Résultats parfois décevants.	Laisser faire la nature.

Les différentes techniques alternatives de végétalisation « écologique » sont encore peu souvent mises en oeuvre et/ou ont rarement fait l'objet d'articles techniques ou scientifiques. Les retours d'expériences sont donc réduits, notamment en carrières de roches massives.

4.6.1 La végétalisation par semis

Ce mode de végétalisation, s'il est essentiellement destiné à la création de milieux herbacés* de type prairie*, constitue une alternative aux techniques de plantation pour la création de milieux boisés.

Les techniques alternatives de semis

Deux techniques alternatives à l'utilisation de semences horticoles sont utilisées dans le domaine du génie écologique pour éviter les problèmes de pollution génétique : la récolte de semences et l'utilisation de la banque de graines du sol, par épandage de terre végétale. Nous indiquons, pour information, une troisième technique moins connue (par accumulation de branchages).

1. La récolte de semences en périphérie du site

Les milieux naturels en attente d'exploitation, en périphérie des carrières, peuvent constituer des réservoirs de graines et fruits pour les secteurs à végétaliser sur la carrière, surtout s'il s'agit de milieux à flore riche et diversifiée.

Cette technique ne doit être mise en œuvre que si le substrat* récepteur (celui qui va être végétalisé) présente des caractéristiques physiques proches du substrat sur lequel les semences vont être prélevées : un carreau ou des remblais calcaires rocailleux et secs conviendront à des plantes de pelouses* et fourrés* calcicoles* sur affleurement rocheux mais pas à une prairie* sur sol frais et profond qui préférera un remblai argileux. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site : http://jmonet.free.fr/Site/semer_graines_plantes_sauvages.html.

- Plantes herbacées*

Les semences sont soit récoltées à la main, éventuellement tamisées et triées, puis semées à la volée ou au semoir, soit récoltées mécaniquement à l'aide d'une faucheuse. Dans ce dernier cas, les plantes fauchées sont étendues immédiatement sur le substrat à végétaliser, ce qui présente l'avantage de protéger les semences et d'apporter un enrichissement organique si besoin.

La récolte ne doit se faire que sur des plantes dont les fruits sont arrivés à maturité. Si le milieu naturel « donneur » abrite des espèces rares, il convient de veiller à ne pas le perturber de façon trop importante, en ne récoltant par exemple qu'une partie des fruits (la récolte de fruits d'espèces protégées nécessite par ailleurs une dérogation préfectorale).

Cette opération peut être renouvelée plusieurs fois dans une même saison et plusieurs années de suite, de préférence à partir de semences provenant de parcelles différentes. La mise en place d'un protocole de semis et d'un suivi est préférable pour vérifier le bon déroulement de la germination et définir ensuite les conditions les plus favorables. Celles-ci varient en effet d'une espèce à l'autre et sont rarement connues.

- Plantes ligneuses*

Les semences sont récoltées à la main puis semées sur le substrat récepteur. Une préparation préalable du sol est indispensable, par décompactage sur une profondeur minimale de 0,50 m à 1 m (en fonction de la taille attendue des arbres et arbustes) et travail plus soigné des 20 premiers centimètres (pour le développement de la racine de la jeune plante).

Une technique utilisée parfois en foresterie consiste à semer les semences récoltées (ou achetées) dans un trou (potet), à raison de plusieurs fruits ou graines par trou. Une protection des potets contre les rongeurs par un grillage dégradable est parfois nécessaire. Ce sont les semences de grande dimension qui semblent les plus favorables, notamment les fruits des chênes (glands). Quelques conseils de semis directs sont données en annexe 1 (p. 265) du document de référence : *Réaménagements forestiers des carrières de granulats* (Vanpeene-Bruhier, 2003).

Le bureau d'études ÉCOSPHÈRE (Michel Pajard) met en place des haies et des formations ligneuses* linéaires par semis à la volée de semences d'arbres et surtout d'espèces buissonnantes récoltées en périphérie des carrières à végétaliser.

Cette technique nécessite une levée de dormance* tégumentaire par mise en jauge* sur la carrière, durant l'hiver, des fruits récoltés en fin d'été. Elle présente l'avantage de réduire le coût de la végétalisation tout en permettant la création d'une formation de physionomie naturelle et dont les caractéristiques génétiques sont parfaitement adaptées à la zone d'implantation.

Figure 34 Fruits d'arbustes récoltés à la main

Seaux de différents fruits (Fusain d'Europe, Rosier des chiens, Aubépine monogyne, Sureau noir...) prêts à être mélangés à du sable avant leur mise en jauge.*

Ces opérations sortent du cadre des prestations proposées par les sociétés paysagistes. Elles peuvent être confiées à des bureaux d'études spécialisés en écologie ou à des associations naturalistes locales.

2. L'épandage de couches superficielles de sol

Cette technique peut être utilisée lors de travaux de décapage de milieux naturels. Elle consiste à prélever la partie superficielle du sol, sur une épaisseur de l'ordre de 5 à 10 cm, de manière à récupérer le maximum de semences et d'organes susceptibles d'assurer la multiplication végétative des espèces (bulbes, rhizomes...). Cette opération est réalisée à l'aide d'un chargeur ou d'une pelle munie d'un godet lisse.

La terre décapée est transportée par camion puis immédiatement régalée sur le substrat* récepteur, sur une épaisseur équivalente ou plus faible, de façon continue ou par taches (cf. figure 36).

3. L'accumulation de branchages

« Hermann Benjes, un écologue allemand, a décrit une méthode pour créer des haies ou des bandes boisées par semis naturel. Elle consiste à accumuler, en bande ou en massif, sur une hauteur de 1 mètre, des branchages, résidus de tailles de vergers, d'arbres d'ornements ou de coupes de bois (disponibles en grandes quantités généralement, ils sont brûlés le plus souvent). Ces tas de bois vont immédiatement attirer de nombreux animaux, mammifères, oiseaux, insectes, qui vont y trouver un abri. Herbes, puis plantes ligneuses et enfin arbres vont pousser au travers des branchages. Selon Benjes, « les oiseaux sèment leurs propres haies avec leur fiente ». De plus la barrière de branchage retient les graines disséminées par le vent. Cette manière de procéder enrichit immédiatement un terrain dénudé en fournissant un abri à de nombreux animaux. Les arbres sont issus de semis et sont parfaitement adaptés au sol, au climat et à la faune. Enfin elle ne coûte presque rien. Comme principaux inconvénients, on peut citer la durée relativement importante d'installation de la haie, le travail nécessaire pour charrier les branchages, la nécessité de trouver une source d'approvisionnement proche du lieu choisi et l'obligation d'avoir l'accord du propriétaire du terrain ».* (d'après http://jmonet.free.fr/Site/semer_graines_plantes_sauvages.html.)

Les techniques classiques de semis

Si le choix porte sur un semis « classique » de semences horticoles, il semble préférable de se limiter à des mélanges standards et éprouvés de graminées* et de légumineuses* pour prairies agricoles plutôt que d'avoir recours à des mélanges de fleurs « sauvages » ou « mellifères* » qui présentent plusieurs inconvénients :

- un risque de pollution génétique : la majorité des semences de fleurs « sauvages » sont produites à l'étranger,
- une artificialisation des secteurs ensemencés par la présence d'espèces ou de variétés étrangères à la flore locale (pour les mélanges utilisés dans les jachères mellifères*),
- un coût financier parfois assez important, pour un résultat souvent décevant,
- un coût énergétique et donc écologique non négligeable (certaines semences, comme celles de l'Achillée millefeuille, peuvent provenir de Nouvelle-Zélande).

Sans entrer dans le détail des techniques d'ensemencement et des mélanges à utiliser qui sont à étudier au cas par cas par un professionnel, quelques recommandations pratiques peuvent être formulées :

- il semble désormais admis qu'il est inutile d'utiliser des mélanges très diversifiés de semences. Un maximum de six espèces, et souvent de trois ou quatre espèces, est suffisant. Le mélange de base est constitué de graminées et de légumineuses (plantes de la famille du pois). Ces dernières enrichissent le substrat* en nitrates par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et améliorent ainsi la fertilité des sols pauvres ;
- il est préférable de privilégier les graminées à croissance lente, qui s'installent de façon pérenne, aux graminées à croissance rapide comme le Ray-grass anglais (*Lolium perenne*) à courte durée de vie. À ce titre, la Fétuque rouge (*Festuca* groupe *rubra*) constitue une des espèces les plus performantes. Il existe de nombreuses variétés qui permettent d'adapter le mélange au milieu ;
- parmi les légumineuses, le Lotier corniculé (*Lotus corniculatus*) est également une espèce très intéressante, pérenne et à croissance lente, qui s'adapte à de nombreux substrats. Il s'agit en outre d'une espèce nectarifère et pollinifère, donc recherchée par les insectes pollinisateurs (lépidoptères* et hyménoptères* pour l'essentiel) ;
- une dose de semis relativement faible, de l'ordre de 100 kg/ha, permet ensuite une colonisation par la flore spontanée et donc un enrichissement naturel de la flore introduite ;
- le régalage* de terre végétale sur les surfaces à enherber n'est pas indispensable. La présence d'un substrat organique souvent riche en éléments nutritifs (terres agricoles) accélère le verdissement des surfaces mais induit de ce fait la nécessité d'un entretien plus fréquent. En l'absence d'entretien, l'apport de terre végétale favorise le développement de fourrés qui tendent à banaliser le milieu s'ils occupent des surfaces importantes.

  Il est préférable de limiter l'emploi de la terre végétale aux substrats les plus contraignants, surtout s'ils nécessitent un verdissement rapide, et aux plantations arborées.

4.6.2 La végétalisation par plantation

Le terme plantation, s'il s'adresse le plus souvent aux espèces ligneuses* (arbres et arbustes), est également utilisé pour l'introduction d'espèces herbacées. Dans les deux cas, un plant est un jeune végétal muni de racines, soit issu d'un milieu naturel, soit élevé par un pépiniériste dans un pot (plantes en conteneur) ou un substrat de culture (plante en racines nues).

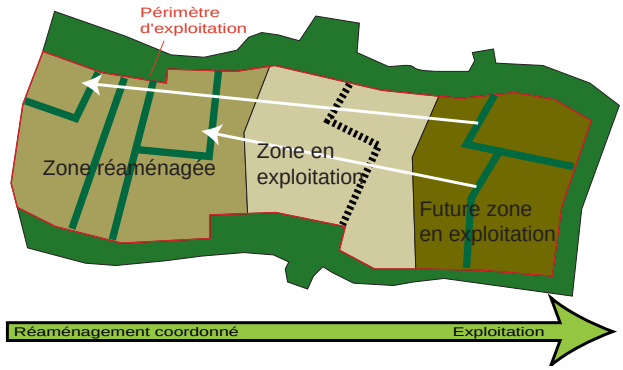
Les techniques alternatives de plantation

Comme pour les semis, le prélèvement de jeunes plantes en périphérie de la carrière peut constituer une alternative à l'utilisation de végétaux produits en pépinière horticole ou forestière. L'opération est cependant plus complexe car il est difficile de prélever une plante, surtout ligneuse, sans abîmer les racines.

Cette méthode est surtout intéressante dans le cas d'espèces rares, difficiles à trouver en pépinière et/ou dont on veut conserver le patrimoine génétique (pour le transfert d'espèces protégées, il faut obtenir une dérogation de la préfecture). Il existe aussi des cas particuliers, comme l'installation d'une roselière à partir de roseaux (phragmite) prélevés en milieu naturel ou le transfert de plantes d'un habitat que l'on souhaite reconstituer (cf. figures 35 et 36).

Figure 35 Reconstitution de haie par transplantation de ligneux*

Haie menacée par la poursuite d'exploitation (matériel végétal à préserver et à valoriser)



1 Prélèvement de ligneux devant être détruits.

2 Transport des ligneux préalablement préparés (rabattement de la biomasse aérienne et racinaire si nécessaire) jusqu'à la zone à végétaliser sur carrière.

3 Plantation des sujets au sein des zones préparées de la carrière («sol reconstitué» à l'aide de terres végétales adaptées sur une épaisseur suffisante, d'au moins 1,5 m, et préalablement enherbé).

Exemple d'une haie reconstituée quelques années après travaux.

Crédit photographique : L. Spanneut et M. Pajard (Écosphère)

Figure 36 Reconstitution de la végétation de mares par transplantation de plantes herbacées*

Mare temporaire devant être détruite par la poursuite de l'exploitation.

1 Au sein des zones remises en état de la carrière, creusement de mares peu profondes, aux berges en pente douce et aux contours sinueux dans un substrat argileux peu perméable.

2 Prélèvement de mottes végétales et de matériaux vaseux contenant des fragments végétaux pour la végétalisation des nouvelles mares.

3 Nappage de matériaux vaseux contenant des fragments végétaux (rhizomes, semences...) sur le fond des nouvelles mares.

4 Transport et installation des mottes prélevées sur les berges des nouvelles mares.

Crédit photographique : M. Pajard (Écosphère)

Dans le cas de ligneux*, il est préférable de ne prélever que de très jeunes pieds, de manière à pouvoir sortir la motte de terre contenant l'essentiel des racines. L'opération se fait à l'automne, quand les sols on retrouvé une humidité suffisante. Pour éviter un dessèchement des radicelles qui peut être très rapide à l'air libre (quelques minutes) et compromettre fortement la reprise, il est indispensable d'enfermer chaque motte dans un sac en plastique en attendant la transplantation. Le prélèvement de ligneux* plus âgés est possible à l'aide d'une pelle mécanique (figure 35) mais les chances de reprise sont plus réduites.

Les techniques classiques de plantation de végétaux ligneux*

Les pépiniéristes offrent un large choix de ligneux et d'accessoires de plantation pour la constitution de milieux arbustifs et arborés. Les techniques de plantations et le choix des essences à introduire sont développés dans de nombreux ouvrages techniques, ainsi que sur de nombreux sites Internet de collectivités locales ou de structures liées à la forêt, comme par exemple :

- CRPF Bretagne (Centre régional de la propriété forestière) :
  http://www.crpf.fr/Bretagne/developpement/documentation.html

- CREN Poitou-Charentes (Conservatoire régional des espaces naturels):
  http://www.cren-poitou-charentes.org/-Plantations-sites-CREN-.html

- Conseil général du Calvados :
  http://www.cg14.fr/mediatheque/publication_cg/pdf/guide_des_haies.pdf

- Parc naturel régional Loire-Anjou-Touraine (guide de plantations) :
  http://www.parc-loire-anjou-touraine.fr/Ressources.php?lang=FRA&filtre=GED&doc=6

Signalons également l'existence de l'Association française des arbres et haies champêtres (AFAHC), qui recense sur son site (http://www.afahc.fr/) une soixantaine de structures régionales (ou opérateurs) travaillant sur le thème de l'arbre « hors-forêt ». Ce site contient par ailleurs de nombreuses informations, comme par exemple des fiches précises de renseignement sur de nombreuses espèces ligneuses françaises (association Haies vives : http://www.haiesvives.org/html/cadreaccueil.htm).

Parmi les auteurs de référence en la matière, Dominique Soltner est probablement le plus connu et le plus ancien, avec parmi ses nombreuses publications :

Document de référence : *L'arbre et la haie* (Soltner, 1988), 11e édition à paraître

Diverses recommandations faites par cet auteur depuis plus de 20 ans sont désormais pleinement reconnues, comme la nécessité d'un travail soigné du sol, d'un paillage limitant la concurrence végétale, de protection contre les herbivores, d'une plantation limitée à la période automnale, l'utilisation de jeunes plants (40/60 cm) d'essences indigènes et variées, etc.

Comme pour les opérations d'ensemencement, la définition technique des plantations (travail du substrat*, apport de terre végétale, choix des essences...) doit être confiée à un professionnel, seul à même d'évaluer les contraintes en fonction des caractéristiques du site.

Nous nous limiterons donc à quelques recommandations permettant de donner une plus-value écologique aux plantations réalisées :

1 **Éviter les espèces exotiques et les cultivars* horticoles** qui induisent une forte artificialisation du paysage rural, sont parfois des plantes invasives (Buddleia, Robinier faux-acacia, Renouée du Japon...) et ne sont pas adaptées aux espèces animales indigènes.

2 **Éviter les paillages plastiques**, même ceux dits « biodégradables », qui artificialisent la plantation en empêchant le développement d'une vie animale et végétale au pied des arbres, et donc perturbent fortement le fonctionnement écologique de la plantation durant plusieurs décennies (cf. figure 37).

Il existe de nombreux types de paillage véritablement biodégradables. Pour de petites plantations, le plus simple et le plus écologique est la paille ou le foin (qui peut être produit sur le site même, sur des remblais par exemple), déposés sur 1,50 m de diamètre et 0,20 m d'épaisseur autour du plant, à renouveler plusieurs années de suite. De nombreuses sociétés commercialisent des feutres textiles (chanvre, jute, coco...) sous forme de rouleaux ou de dalles, dont la durée de vie est d'environ trois ans.

Figure 37 Paillage plastique âgé d'environ 10 ans

3 **Planter sur le sol en place**, en pied de remblais ou de merlon de matériaux stériles par exemple, en complément des plantations réalisées sur les talus. Les végétaux bénéficient là de conditions de développement moins contraignantes que sur les sols pauvres et tassés des remblais, et forment ainsi des structures boisées plus rapidement et mieux profitables à la faune (fruits, pollen, cavités pour les oiseaux cavernicoles*, etc.). Les espèces arborées à grand développement (Chêne pédonculé, Frêne commun, Érable champêtre...) peuvent atteindre des tailles respectables si elles sont menées en arbres de haut-jet*, sans risque de chablis*. Enfin, la position de la haie, en pied de merlon par exemple, lui donne un rôle de corridor biologique pour relier entre elles différentes parties de la carrière ou pour relier cette dernière au maillage bocager.

4 **Former de nouveaux « têtards »**. Les têtards sont les arbres qui étaient autrefois taillés pour la production de bois ou de feuillage, dans diverses régions de France (Massif armoricain notamment). À force de coupes répétées aux mêmes endroits, les arbres développent des cicatrices au niveau desquelles se forment des cavités de tailles variables, qui constituent des milieux d'abri et de reproduction pour de nombreuses espèces animales (oiseaux cavernicoles*, chauves-souris, insectes...).

Les arbres têtards n'ont désormais plus d'intérêt économique et sont donc amenés à disparaître. Leur intérêt écologique est pourtant important, d'où l'intérêt de penser dès maintenant à leur renouvellement.

Des cavités apparaissent sur le premier arbre, au niveau du point d'insertion d'anciennes branches. Le centre même de la « tête » peut constituer une cavité de grande taille.

Figure 38 Arbres émondés en têtard

La technique de taille est simple. Elle est expliquée sur le site Internet de l'AFAHC* à la rubrique « L'arbre têtard » : http://www.haiesvives.org/html/tetard/arbre tetard.htm

De nombreuses informations sur les têtards sont également disponibles sur le site Internet de la Maison botanique de Boussay (41) qui abrite le « Centre européen des trognes » : http://www.maisonbotanique.com/centre-europeen-trognes.php

Les arbres à traiter en têtard peuvent être isolés ou localisés dans des haies (mais pas dans des plantations denses). Leur croissance est lente (du fait des coupes), d'où l'intérêt de les planter sur le sol en place.

5 Planter des haies larges et multistrates.

L'intérêt écologique de la haie réside pour partie dans sa capacité d'abri pour de nombreuses espèces animales (reptiles, petits mammifères, insectes...) et seule une strate buissonnante **dense et large**, constituée par exemple de Prunellier, Troène commun, Cornouiller sanguin, Ronce des bois (qui ne s'installera que si le paillage disparaît), est capable d'assurer cette protection. La haie doit donc être constituée d'au moins deux lignes de plants, d'une largeur minimale de 1 m en pied.

Un autre intérêt de la haie réside dans la **diversité des strates** qui la compose (herbacée*, buissonnante, arbustive, arborescente), chaque strate abritant une faune et une flore qui lui est propre. **La strate buissonnante**, outre son rôle d'abri et de reproduction pour des espèces nichant à faible hauteur, peut jouer un rôle alimentaire important par les baies qu'elle produit en fin d'été et qui sont consommées par de nombreux oiseaux (des passereaux essentiellement) durant la migration d'automne puis durant l'hiver. Une des espèces les plus consommées est l'églantier (*Rosa canina* notamment) qui s'installera spontanément. De nombreuses autres espèces à baies sont également recherchées et peuvent être facilement plantées : Prunellier (*Prunus spinosa*), Troène commun (*Ligustrum vulgare*), Cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), Viorne lantane (*Viburnum lantana*), Viorne obier (*Viburnum opulus*), Fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*), Houx (*Ilex aquifolium*)...Dans la strate arbustive, le Sureau noir (*Sambucus nigra*) fournit en abondance de petites baies recherchées par les petites passereaux (Troglodyte mignon par exemple). Chaque espèce a bien sûr des exigences écologiques propres dont il faut tenir compte lors de la sélection (cf. site Internet de l'AFAHC : http://www.afahc.fr/).

La strate arborescente, peu courante dans les haies plantées, constitue pourtant un type d'habitat indispensable pour certaines espèces nichant en hauteur ou recherchant les cavités. Il est donc utile de mener une partie des arbres plantés en « haut-jet *», sans recépage*.

Les différentes strates ligneuses* peuvent êtres juxtaposées soit au sein d'une même haie, soit en alternance sur des tronçons de longueur variable de 10 à 50 m.

Figure 39 Haie multistrate

Les techniques classiques d'introduction de végétaux herbacés*

C'est essentiellement en matière d'aménagement de plans d'eau que sont utilisées différentes techniques de végétalisation herbacée* des berges (nattes préensemencées ou précultivées, gabions* végétalisés...) ou de la zone en eau (bacs, radeaux végétalisés...).

Pour les berges, ces techniques sont notamment destinées à empêcher leur érosion par l'effet du batillage, sur les grands plans d'eau de gravières (cf. §. 4.3.4 La protection contre l'érosion, page 78 du *Guide pratique d'aménagement écologique des carrières en eau*. Dasnias (ÉCOSPHÈRE), 2002) Ce problème d'érosion concerne peu les plans d'eau de roches massives.

Pour les zones en eau, les bacs et radeaux sont des éléments très artificiels, plutôt destinés à des aménagements urbains.

4.6.3 L'application des principes écologiques aux opérations de végétalisation

En conclusion de ce chapitre, nous rappellerons quelques-unes des préconisations écologiques du guide, dans le contexte des opérations de végétalisation :

- **favoriser les équilibres biologiques** : favoriser les souches locales adaptées aux milieux en place (techniques alternatives, nombre réduit d'espèces horticoles introduites) et éviter les interventions en période de reproduction (semis et plantation se font de préférence à l'automne) ;
- **économiser les ressources énergétiques** : privilégier les techniques peu coûteuses en énergie en limitant les interventions mécaniques sur la végétation (végétaux à croissance lente...) et en faisant le choix de méthodes naturelles (semis peu diversifiés en espèces, paillage de foin...) ;
- **éviter les traitements phytosanitaires ;**
- **limiter les apports organiques et les engrais.**

4.7 Les travaux de restauration par transfert de milieu

Ce paragraphe traite de la restauration* uniquement au sens de *la recréation d'un milieu naturel devant être exploité, par transfert de ce milieu sur un secteur de la carrière à remettre en état*. Il ne s'agit donc pas de restauration au sens scientifique du terme (Le Floc'h et Aronson, 1995), celle-ci étant limitée aux milieux faiblement dégradés et susceptibles de retrouver leur état d'origine.

Le transfert d'un milieu naturel s'apparente aux techniques alternatives de végétalisation (cf.§ 4.6.1 et 4.6.2), à savoir le prélèvement du sol ou des plantes en place et le régalage* ou la plantation vers un milieu récepteur. Mais ces techniques ne permettent de déplacer que partiellement le milieu d'origine, sans conserver sa structure (terre végétale en vrac, végétaux isolés). Dans une opération de transfert de milieu, on essaie de conserver au maximum l'intégrité de ce dernier en déplaçant ensemble (si possible), la faune, la flore, le sol et les microorganismes qu'il contient.

Les travaux consistent à découper le milieu d'origine en plaques (travaux de déplaquage) qui sont ensuite acheminées vers le milieu récepteur.

Plus les plaques sont épaisses et de grandes dimensions, mieux le milieu est conservé dans son intégrité. Les limites sont imposées par le matériel disponible : les godets des gros chargeurs permettent de prélever des plaques atteignant 3 m de long sur 2 m de large. L'épaisseur est variable et dépend surtout de la structure du sol (sol sableux ou caillouteux, voire rocheux, profond ou superficiel...).

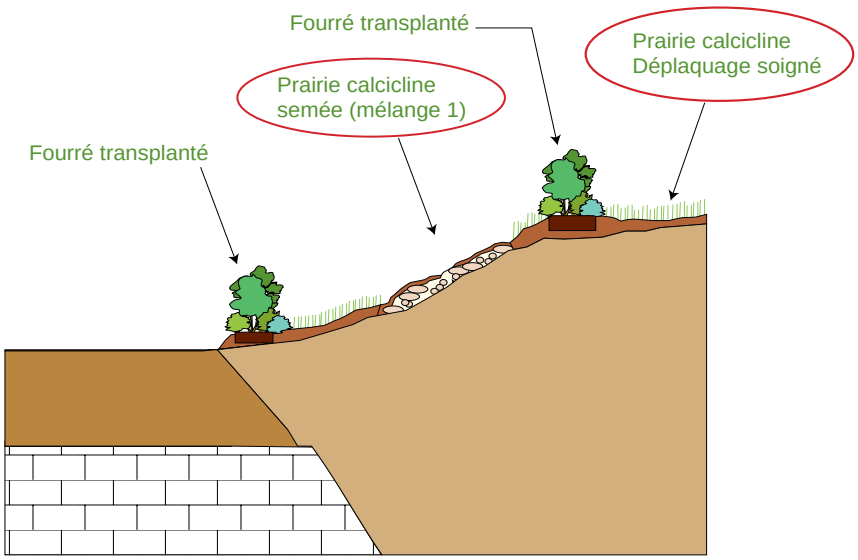
Figure 40 Travaux de déplaquage

Opération de déplaquage de pelouse silicicole* sableuse en Haute-Normandie. Le substrat* sableux homogène peu compact permettant le prélèvement de plaques de grande dimension à l'aide d'un godet amélioré et la couverture herbacée* à enracinement peu profond sont des conditions idéales qui ont permis une très bonne reprise de la végétation. Seuls les interstices entre les plaques ont été colonisés par des plantes de friches.*

À ce déplaquage soigné a été associée une opération de transfert de terre végétale qui a donné des résultats plus mitigés du fait d'une abondante colonisation de la pelouse reconstituée par des plantes invasives, notamment le Séneçon du Cap (Senecio inaequidens). Un arrachage à la main a été réalisé par un chantier de bénévoles. Un suivi floristique est assuré par le Conservatoire des sites naturels de Haute-Normandie.

Le déplaquage peut également être partiel, sous la forme de dalles d'environ 50 cm de côté prélevées de façon soignée et installées çà et là sur la zone d'accueil où elles serviront à amorcer le démarrage de la végétation périphérique par apport de graines. Ce sont les stations de plantes remarquables qui sont prélevées en priorité.

Figure 41 Reconstitution de pelouses calcicoles

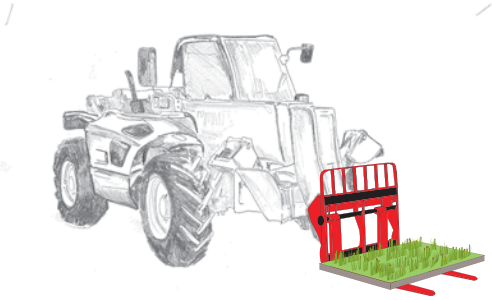


1 Aménager des conditions stationnelles adaptées.

Reconstitution d'un sol calcaire superficiel à l'aide de blocs calcaires nappés de matériaux calcaires fins et d'une faible épaisseur de terre végétale (1cm)

3 Exemple d'une pelouse marneuse reconstituée quelques années après travaux.

2 Différentes techniques pour orienter et accélérer la dynamique végétale.



► Déplaquage mécanisé soigné de stations qui pourront s'étendre sur la pelouse reconstituée.

► Transplantation soignée de mottes (pieds isolés d'orchidées, par exemple).

► Semis avec un mélange spécifique de graines.

Crédit photographique : F. Le Bloch et M. Pajard (Écosphère)

4.8 L'ouverture au public

La majorité des projets de remise en état des carrières de roches massives sont à caractère écologique, les opportunités de réaffectations vers un autre usage étant rares en milieu rural pour des sites présentant le plus souvent de nombreuses contraintes (hauteur des fronts, ennoiement des fosses, sécurité...). En milieu péri-urbain, une partie des carrières de roches massives sont rétrocédées après exploitation aux collectivités locales (communes, départements...) et entrent ainsi dans le domaine public, le plus souvent pour former des bases de loisirs où les milieux naturels tiennent une place assez importante.

Dans les deux cas, dans la mesure où la vocation essentielle du site est le retour à la nature, il peut être utile de prévoir des aménagements qui permettent de concilier le maintien de milieux naturels riches et diversifiés, éventuellement remarquables, et une fréquentation du public en toute sécurité, au moins sur une partie du site.

Pour la faune et la flore, l'ouverture d'une ancienne carrière au public peut avoir des avantages et des inconvénients :

- **avantages** : l'interdiction d'accès suscite parfois une attirance et une fréquentation sauvage, pour des activités plus destructrices qu'une fréquentation raisonnée (rave party, motocross, quad, dépôt d'ordures...). L'ouverture du site aménagé permet alors une certaine forme de surveillance passive induite par le passage régulier ou potentiel de tout un chacun. Elle joue également un rôle de sensibilisation des populations locales à la biodiversité ;

- **inconvénients** : la fréquentation du public, même si elle est faible, peut avoir des conséquences fâcheuses sur certaines espèces très sensibles au dérangement (Faucon pèlerin, Grand Corbeau...) ou convoitées par des collectionneurs (papillons, orchidées...).

  De ce fait, certains sites sont incompatibles avec une ouverture au public. Il faudrait que leur accès soit limité dans le temps (en dehors de la période de reproduction ou de floraison) mais cette solution semble peu envisageable.

Les contraintes les plus importantes en carrières de roches massives relèvent de la sécurité.

Les principaux dangers sont liés aux risques de chutes (nombreux dénivelés abrupts) et aux chutes de pierres depuis les fronts supérieurs. Ils sont de même nature que les dangers auxquels on s'expose en montagne mais le contexte est différent.

Le propriétaire est généralement responsable des accidents survenant sur ses terrains, ce qui n'incite pas à laisser le libre accès. L'ancien exploitant conserve une part de responsabilité, par exemple en cas de glissement de terrain.

Figure 42 Chute de blocs sur un site ouvert au public

Cette ancienne carrière de grès a été acquise par le Département de la Vendée dans le cadre des Espaces naturels sensibles et donc aménagée pour l'accueil du public. La chute de blocs depuis les fronts bordant l'accès a cependant contraint le Conseil général à procéder à sa fermeture.

Il faut savoir que des conventions peuvent être mises en place entre les collectivités et des propriétaires privés dans le cadre de l'ouverture d'espaces naturels au public. Ces conventions sont régies par l'article L.130-5 du code de l'urbanisme : « *les collectivités territoriales ou leurs groupements peuvent passer avec les propriétaires de bois, parcs et espaces naturels des conventions tendant à l'ouverture au public de ces bois, parcs et espaces naturels. [...] Dans ce cadre, ces collectivités peuvent prendre en charge tout ou partie du financement des dépenses d'aménagement, d'entretien, de réparation et des coûts d'assurance nécessités par l'ouverture au public de ces espaces. Les conventions peuvent également prévoir le versement au propriétaire d'une rémunération pour service rendu.* »

Le niveau d'aménagement des carrières de roches massives en vue de leur ouverture au public est très variable, parfois important avec la mise en place de parcours cimentés, de caillebotis métalliques ou en bois pour cheminer sur des zones humides, de panneaux d'information, de belvédères, d'observatoires ornithologiques, etc.

Figure 43 Exemples de sites aménagés pour la découverte des milieux naturels

Vue ci-dessus sur l'ancienne carrière de la cimenterie de Lormont, devenue le parc de l'Ermitage (agglomération bordelaise). Il s'agit d'un site naturel majeur, inventorié en ZNIEFF de type 1.

Vue ci-contre sur l'ancienne carrière de la Roche-Ballue, sur la commune de Bouguenais, aux portes de Nantes. Le site a été aménagé en base de loisirs (plans d'eau de baignade et de plongée, plage de sable, jeux pour enfants, bicross, escalade...) et en lieu de promenade avec sentiers d'interprétation (vue sur un caillebotis installé sur une zone humide). On note la présence d'un piège à cailloux colonisé par des bouleaux, en pied de front (cf. infra).

Si les opérations de réaménagement en vue de l'accueil au public ne sont pas du ressort de l'exploitant, il est par contre possible de les anticiper dans le cadre de la remise état par des aménagements permettant notamment de sécuriser le site.

Les pieds de fronts représentent probablement le secteur le plus dangereux de la carrière, surtout si la roche présente un caractère fracturé qui amène la formation de blocs instables. Il convient donc d'empêcher l'accès au pied de front, sur une distance d'au moins une dizaine de mètres.

Les pièges à cailloux constituent une mesure de sécurité adaptée à ce danger. Ils peuvent être écologiquement valorisés par la mise en place de milieux aquatiques temporaires, voire permanents, en fond de piège. Ils occupent en effet une position favorable pour la récupération des eaux pluviales ruisselant sur les fronts exposés aux vents océaniques. Un surcreusement localisé de la tranchée et une étanchéification du fond peuvent cependant être nécessaires pour conserver l'eau durant la période printanière, en concentrant si nécessaire les eaux de ruissellement vers deux ou trois points bas par la mise en place de pentes en fond de piège. Le merlon édifié sur la bordure externe à l'aide des matériaux extraits et les fourrés qui colonisent ces matériaux remaniés complètent utilement le dispositif de sécurité.

Le piège à cailloux peut aussi constituer un corridor au sein de la carrière, du fait de son caractère linéaire, pour relier plusieurs milieux aquatiques.

Plus simplement, la création de **dépressions en eau** en pied de front suffit à empêcher l'accès, même si elles s'exondent en été, du moment que le sol reste suffisamment humide et vaseux.

Outre leur intérêt en tant que surface de collecte des eaux pluviales, les fronts présentent régulièrement des zones d'arrivées d'eaux souterraines qui peuvent compléter utilement les apports météoriques.

Figure 44 Pièges à cailloux et mare en pied de front

Vue à gauche sur un piège à cailloux d'une carrière de grès de la Manche, à inondation temporaire. À droite, ce grand front de calcaire d'une carrière de Seine-Maritime continue de s'éroder, comme en attestent les éboulis accumulés. La dépression aménagée sécurise la partie de front la plus haute.

Figure 45 Bandes boisées aux abords de fronts

Des fourrés* et boisements peuvent compléter là aussi le dispositif de sécurité, tout en limitant la perception visuelle des fronts.

Remise en état coordonnée à l'avancée de l'exploitation sur une grande carrière calcaire des Deux-Sèvres. La bande boisée est destinée à empêcher l'accès au front. Elle est installée sur un talus qui encercle une zone de carreau humide conservée en pied de front.

On remarquera le paillage biodégradable de la plantation (cf. § 4.6.2)

► **Les éboulis** constituent une autre forme de valorisation écologique et de sécurisation des fronts (cf. fiche 5).

► De simples **dépôts de matériaux** en pied de front peuvent suffire à tenir le public à distance, tout en jouant le rôle de piège à cailloux. Il peut s'agir des matériaux sortis de mares aménagées (cf. supra) et placés en alternance, qui peuvent alors servir de zones d'abris pour des amphibiens se reproduisant dans les mares. Des dépôts de granulométries et structures diversifiées (sables, stériles argileux, blocs...) augmentent notablement les potentialités d'accueil.

Figure 46 Dépôts de matériaux en pied de front

Ces stocks de granulats, même de taille réduite, éloignent naturellement le visiteur du pied de front sur cette carrière de diorite de Vendée. Au contact du front exposé à l'ouest, les sables humidifiés au printemps par le ruissellement des eaux pluviales sont colonisés par un peuplement dense de Prêle rameuse (Equisetum ramosissimum), plante très rare au niveau régional. L'Oedipode turquoise (Oedipoda caerulescens), criquet des milieux secs et nus, occupe le côté externe du stock, exposé au soleil et très pauvre en végétation.

En haut de front, la plantation de fourrés d'épineux très denses (Prunellier) ou l'implantation spontanée de ronciers sur le merlon périphérique de terre végétale compléteront efficacement la clôture pour dissuader les curieux de s'approcher du bord du front.

Pour plus d'informations sur les principes généraux de gestion des accès et de la fréquentation d'une carrière, le lecteur se référera aux notes synthétiques du paragraphe 3.6 (page 65) du *Guide pratique d'aménagement écologique des carrières en eau* (Dasnias (ÉCOSPHÈRE), 2002).

Des données techniques sur l'accueil du public dans les milieux naturels sont disponibles dans différents cahiers techniques de l'ATEN (Atelier technique des espaces naturels), en commande ou téléchargeables pour certains sur le site : http://boutique-en-ligne.espaces-naturels.fr/

5 - Gestion et aménagement écologiques des différents secteurs d'exploitation

> Mode d'emploi des fiches

> Localisation des secteurs d'exploitation

FICHES

1. *Les remblais de matériaux stériles*
2. *Les merlons et stocks de terre végétale*
3. *Les zones décapées*
4. *Les fronts de taille*
5. *Les éboulis et dépôts de blocs rocheux*
6. *Les dépôts et zones de matériaux fins*
7. *Les carreaux et mares temporaires*
8. *Les bassins permanents*
9. *Les bassins de décantation*
10. *Les plans d'eau de fosse*

5 - Gestion et aménagement écologiques des différents secteurs d'exploitation

5.1 Mode d'emploi des fiches

Le choix de présenter les aménagements par secteur d'exploitation résulte d'un double constat :

- chaque secteur d'exploitation abrite, du fait de caractéristiques physiques particulières, des habitats et des biocénoses* spécifiques ;
- le secteur d'exploitation constitue une entité parlante pour l'exploitant de carrière.

Chaque secteur fait l'objet d'une fiche qui comprend cinq parties :

1. **Une description générale du secteur d'exploitation** : localisation sur la carrière, caractéristiques physiques, modalités d'exploitation, terminologie...

   Cette description permet, d'une part, de préciser clairement à quel secteur d'activité la fiche fait référence (définition du sens des termes utilisés sur les carrières) et, d'autre part, d'indiquer d'emblée les principales caractéristiques et contraintes physiques du secteur.

   À la fin de cette partie, un bilan des enjeux environnementaux et de sécurité du secteur d'exploitation est destiné à signaler, en les hiérarchisant, les contraintes qui sont plus ou moins susceptibles (en fonction du degré d'importance) d'être incompatibles avec des aménagements à vocation écologique.

2. **Une synthèse de l'intérêt écologique potentiel du secteur : habitats naturels, flore, faune, facteurs favorables et limitants**. Cette synthèse s'appuie notamment sur les résultats des inventaires du programme d'études sur les carrières de roches massives (ENCEM, 2008) et renvoie à ce rapport pour les formations végétales, indiquées dans le texte avec leur lettre de référence (par exemple, B1 pour « Grève* oligotrophe* »).

   Cette partie s'adresse plutôt aux prestataires de conseil en écologie. Elle précise les potentialités d'accueil de chaque secteur et permet ainsi d'éviter des aménagements inadaptés (des remblais argileux pour une lande* à éricacées* ou l'aménagement d'un plan d'eau de fosse pour du Crapaud calamite, par exemple).

   Un tableau de synthèse sur les facteurs favorables et limitants, accompagné d'un encadré sur l'intérêt essentiel du secteur d'exploitation, constitue un résumé plus accessible aux non-spécialistes.

3. **Des préconisations de mesures de gestion au quotidien**. Il s'agit de mesures très simples qui portent surtout sur une planification dans le temps des travaux d'entretien et d'exploitation, la gestion des niveaux d'eau, la veille écologique et la préservation des milieux les plus intéressants.

   Ces mesures sont d'abord du ressort de l'exploitant et du personnel de la carrière.

4. **Des préconisations d'aménagements écologiques**. Dans la plupart des cas, il s'agit d'aménagements simples qui portent souvent sur des travaux de terrassement. Des aménagements plus élaborés font généralement l'objet d'encarts spécifiques.

   Des aménagements localisés et ponctuels peuvent être réalisés par l'exploitant, sans assistance extérieure. Pour des travaux plus conséquents en termes de surface, de durée ou d'enjeux (milieu ou espèce sensible), le recours à des écologues (association ou bureau d'études) est vivement recommandé.

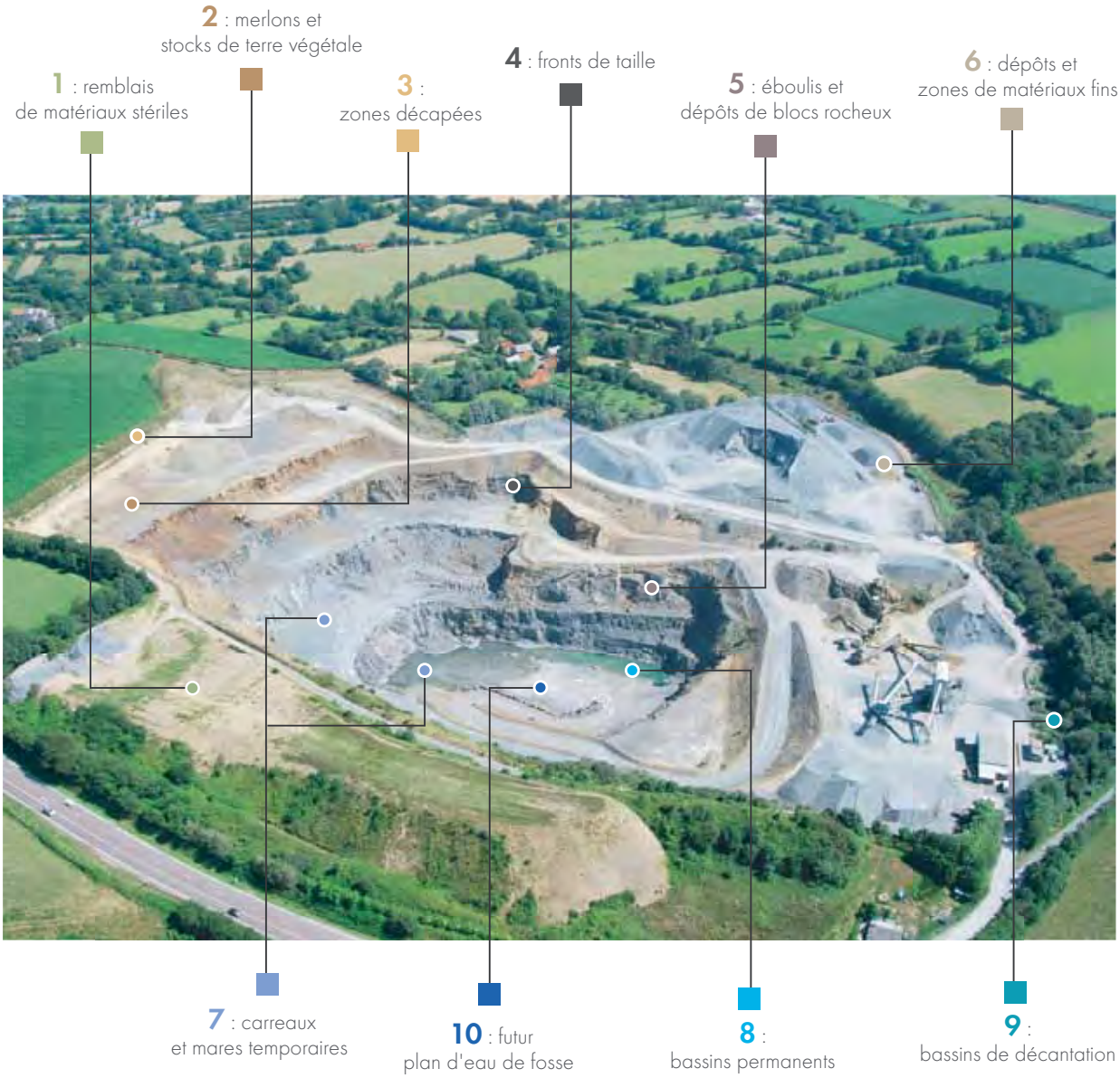
5. **Un tableau d'évaluation du coût financier** de chaque proposition de gestion et d'aménagement, selon trois classes : faible, moyen et élevé.

5.2 Localisation des secteurs d'exploitation

Les différents secteurs d'activité de la carrière sont localisés sur la figure 47. Les fiches sont présentées dans un ordre qui progresse globalement de la périphérie vers le centre de la carrière :

1. Les remblais de matériaux stériles
2. Les merlons et stocks de terre végétale
3. Les zones décapées
4. Les fronts de taille
5. Les éboulis et dépôts de blocs rocheux
6. Les dépôts et zones de matériaux fins
7. Les carreaux et mares temporaires
8. Les bassins permanents
9. Les bassins de décantation
10. Les plans d'eau de fosse

Figure 47 Localisation des différents secteurs d'exploitation



Carrière de grès de la Manche

1 - Les remblais de matériaux stériles

1 Description

Les matériaux stériles correspondent à la partie non commercialisable du gisement, qu'il faut donc pouvoir stocker, au moins provisoirement. Il s'agit de matériaux strictement minéraux.

Les volumes de matériaux stériles sont très variables d'un site à l'autre. Quand la carrière est jeune, ils ne peuvent être stockés qu'en périphérie de la fosse où ils forment des dépôts parfois conséquents en hauteur et/ou en surface. Ce sont surtout ces remblais, encore appelés verses à stériles ou dépôts de stériles, qui sont concernés par cette fiche.

Quand la carrière s'agrandit, il est parfois possible de stocker les stériles dans une partie de la fosse qui ne sera plus exploitée. Les matériaux sont soit déversés depuis la partie haute des fronts, soit déposés en couches horizontales dans le fond de la fosse (cf. fiche 10 sur les plans d'eau de fosse). Ils sont également utilisés pour la remise en état des sites, par exemple pour le talutage des fronts.

Les stériles sont souvent des roches argileuses, situées soit dans la partie supérieure altérée du gisement (stériles dits de découverte car ils doivent être retirés pour accéder à la roche saine), soit au sein du matériau exploité (stériles dits d'exploitation, triés par les opérations de traitement). Dans ce dernier cas, la roche qui constitue les stériles est souvent différente de la roche exploitée (schistes dans un gisement de grès ou argile de décalcification dans du calcaire, par exemple) et **les remblais constitués avec ces stériles n'ont pas les mêmes caractéristiques physico-chimiques que le substrat* de la fosse.**

Figure 48 Quelques exemples de remblais de matériaux stériles

Ci-dessus : versant d'un remblai assez récent de matériaux stériles schisteux d'une carrière de grès du Maine-et-Loire.

Ci-contre : sur cette carrière de porphyre du Rhône, les stériles sont déversés dans la fosse depuis une banquette intermédiaire.

Ci-dessous : vue sur un remblai d'une carrière de schiste d'Ille-et-Vilaine. Les matériaux sont déposés en couches successives qui sont progressivement colonisées par une végétation herbacée puis ligneuse.*

Tableau 15 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux remblais

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen				
Enjeu fort				

Les remblais sont souvent stockés en périphérie de la fosse et sont souvent aménagés de manière à masquer tout ou partie de l'activité industrielle vis-à-vis des secteurs les plus fréquentés en périphérie de la carrière (agglomérations, routes à grande circulation, chemins de randonnée...). Ils font donc généralement l'objet d'un traitement paysager plus ou moins poussé (morphologie et plantations notamment) au niveau de leur talus extérieur et parfois de leur partie sommitale. Dans ce cas, c'est le talus intérieur qui sera le plus apte à être géré et aménagé de façon écologique.

Les remblais jouent également un rôle de protection sonore et vis-à-vis des envols de poussières.

Le traitement paysager de ce remblai d'une carrière d'Ille-et-Vilaine est basé sur l'agencement d'une palette diversifiée d'arbres et d'arbustes.

On note en premier plan un pied de Laurier-cerise (Prunus laurocerasus), une plante estimée invasive (notamment en Bretagne) qu'il est donc préférable d'éviter. La gestion écologique du site doit également intégrer le choix des essences destinées aux plantations (cf. § 4.6.2).

Figure 49 Aménagement paysager sur remblais

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

23 des 40 formations végétales recensées sur les carrières de roches massives ont été observées sur les remblais de matériaux stériles (ENCEM, 2008), ce qui place ces derniers en tête des secteurs d'activité de la carrière pour la diversité des habitats.

Le bilan du nombre d'habitats, par ordre décroissant de fréquence dans l'échantillon de 35 sites, est le suivant (en pourcentage du nombre de sites) :

1. La végétation herbacée* mésophile* (69 %),
2. La végétation ligneuse* basse (54 %),
3. La végétation ligneuse haute (37 %),
4. La végétation herbacée xérophile* (20 %),
5. La végétation herbacée amphibie et hygrophile* (14 %),
6. La végétation aquatique (3 %).

Le caractère essentiellement mésophile* de la végétation et la bonne représentation des ligneux, notamment les fourrés*, sont à mettre en relation avec le caractère à la fois argileux et non compact du substrat*, qui permet une bonne rétention de l'eau et un enracinement profond. Paradoxalement, les milieux amphibies* et aquatiques sont rares, du fait d'un drainage naturel lié à la topographie des remblais et parfois d'un drainage mis en place pour assurer la bonne stabilité des terrains.

Au moins quatre habitats d'intérêt communautaire ont été identifiés sur les remblais étudiés (Encem, 2008) :

Tableau 16 Habitats d'intérêt communautaire de matériaux stériles

Formations apparentées à des habitats d'intérêt communautaire	
Intitulé directive Habitats	**Intitulé de l'étude**
3150 : Lacs eutrophes* naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*	> Herbier aquatique (A.2)
4030 : Landes* sèches européennes	> Lande* atlantique à éricacées* (E.1 - sur grès uniquement)

Formations potentiellement ou partiellement d'intérêt communautaire	
6210*pp : Pelouses* sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires	> Pelouse* marnicole* méso-hygrophile* (C.2)
6510 pp : Pelouses* maigres de fauche de basse altitude	> Prairie* méso-hygrophile*(B.14) > Prairie* mésophile* (C.5)

pp : pour partie

Figure 50 Deux types d'habitat sur les remblais de matériaux stériles

Vastes pentes d'un remblai d'une carrière de gabbro de la Sarthe. Au sein des formations herbacées de prairie* et de friche* commencent à apparaître des îlots de fourrés*.*

L'orientation au sud favorise l'apparition d'espèces végétales et animales thermophiles des milieux ouverts, dont certaines peu communes dans cette région du nord de la France, comme le Caloptène d'Italie (vue ci-dessous). La présence de fourrés participe à la diversification des peuplements en créant des zones d'abri ou de nidification.*

Remblais déversés depuis la partie haute des fronts il y a une cinquantaine d'années et désormais colonisés par une végétation arborée sur une carrière de grès de Belgique.

2.2 *Flore*

La flore est logiquement diversifiée sur les remblais : 74 % des espèces recensées y ont été observées (ENCEM, 2008). Cette flore contient 23 % (21 espèces) de la flore déterminante ZNIEFF recensée dans l'échantillon. Par station inventoriée, on observe en moyenne 29 espèces, dont 0,2 espèce déterminante ZNIEFF.

On constate que la sensibilité floristique des remblais est assez faible, la flore étant dominée par des plantes plutôt ubiquistes* de friches*, prairies* et fourrés*.

Figure 51 Mare temporaire sur remblai

Sur la partie sommitale de ce remblai de matériaux stériles d'une ancienne exploitation minière de Loire-Atlantique s'est formée une mare temporaire qui abrite une belle population d'une plante rare au niveau régional : le Lythrum de Borysthène (Lythrum borysthenicum - vue ci-contre).

Ce remblai accueille une autre plante remarquable : le Sérapias à petite fleurs (Serapias parviflora). Il permet en outre la reproduction de l'Oedicnème criard et du Busard Saint-Martin.

2.3 *Faune*

2.3.1 Invertébrés

La diversité végétale et l'importante superficie des zones de remblais permettent généralement le développement d'une intéressante diversité d'insectes.

Les pentes ensoleillées sont favorables notamment aux **insectes thermophiles***, qu'ils soient butineurs (papillons, hyménoptères*, diptères*...), phytophages* (orthoptères*...) ou prédateurs. Ainsi, sur les 35 carrières étudiées, les remblais accueillent la plus grande diversité d'orthoptères, avec 83 % des espèces recensées. Chaque station abrite en moyenne 9 espèces d'orthoptères*, dont 0,7 espèce déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008).

Les **insectes fouisseurs** trouvent dans les substrats* peu compactés des conditions favorables pour creuser leurs terriers (hyménoptères* fouisseurs, Grillon bordelais, Grillon champêtre... ; cf. fiche 6 sur les dépôts et zones de matériaux fins).

2.3.2 Vertébrés

Les **reptiles** affectionnent ces importantes surfaces peu boisées. Les zones de lisière (bords de fourrés ou de strates herbacées plus hautes) sont alors des lieux privilégiés pour les rencontrer : vipères, couleuvres, lézards, orvets...

Les zones les plus fraîches sont colonisées par des **amphibiens** en phase terrestre, surtout si des mares ou zones humides se trouvent à proximité (pieds des verses notamment).

Deux principaux peuplements d'**oiseaux** cohabitent sur les remblais. Les espèces de **milieux ouverts** s'y installent dès qu'une couverture herbacée est suffisamment développée sur de grandes surfaces (Alouette des champs, Bruant proyer, Œdicnème criard...). La présence de fourrés* plus ou moins denses attire ensuite de nombreuses espèces des milieux semi-ouverts (Hypolaïs polyglotte, Fauvette grisette, Fauvette des jardins, Tarier pâtre, Bruant jaune, Linotte mélodieuse, Alouette lulu, Fauvette pitchou, Pie-grièche écorcheur...).

Les **mammifères** fréquentent également les grandes verses car ils y trouvent généralement la tranquillité souhaitée (Chevreuil, Lièvre, micromammifères...) tandis que les lapins, souvent abondants dans ces milieux où ils peuvent creuser des terriers, participent parfois de façon significative au maintien de zones de végétation rase.

Figure 52 Renard sur remblai de stériles*

Jeune renard sur un remblai d'une carrière de gabbro de la Sarthe.

2.4 Facteurs favorables et limitants

Tableau 17 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des remblais

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables
Mosaïque de milieux herbeux à végétation diversifiée et de fourrés, favorable aux espèces strictement liées à chaque type de végétation et aux espèces les utilisant de façon complémentaire (oiseaux nichant dans les fourrés et s'alimentant dans les milieux herbeux, par exemple). **Vastes zones herbacées à végétation peu dense**, favorables aux oiseaux des milieux ouverts (Alouette des champs, par exemple). **Milieux herbeux exempts de traitements phytosanitaires.** **Talus exposés au sud**, favorables aux espèces qui aiment la chaleur (sauf en région méditerranéenne). **Lisières** entre différentes strates de végétation.	**Apport de terre végétale** sur de grandes surfaces, provoquant souvent un développement rapide des fourrés. **Fauches en période de végétation** (fin mars à fin septembre). **Plantations homogènes et semis herbacés denses** qui banalisent le milieu. **Absence de point d'eau.**

Quel est l'intérêt écologique des remblais ?

- Milieu de nature « ordinaire » mais très diversifiée (secteur le plus riche de la carrière).
- Présence de talus souvent vastes, à végétation herbacée et exposés au soleil, favorables aux espèces aimant la chaleur.

3 La gestion écologique au quotidien

La période de mise en remblais

Quand apparaît la nécessité de déposer de nouveaux matériaux stériles sur un remblai de deux ou trois ans déjà végétalisé, si la gestion des stériles le permet, il est préférable de réaliser les travaux en dehors de la période principale de reproduction de la faune (celle-ci s'étendant de début mars à fin juillet) ou sur une partie seulement de la surface.

L'entretien de la végétation des remblais

Le plus souvent, les matériaux stériles sont rapidement colonisés, de façon spontanée, par une végétation prairiale assez dense, riche en graminées, qui ne nécessite pas d'entretien particulier pendant plusieurs années. La densité de la végétation et le caractère minéral du substrat limitent souvent l'installation des plantes invasives (cf. § 4.5.6) et des plantes de friches nitrophiles*, notamment les chardons (cf. § 2.3).

Si des fourrés* ont tendance à s'étendre rapidement, il est préférable de contrôler leur extension par une fauche annuelle tardive de la végétation herbacée*, voire par un débroussaillage partiel des fourrés* les plus récents (cf. § 4.5), de manière à conserver une mosaïque d'habitats ouverts, semi-ouverts et fermés.

Il peut être nécessaire d'adapter la proportion de chaque type d'habitat (ouvert à fermé) en fonction des espèces présentes ou des espèces que l'on veut favoriser.

L'entretien de la végétation peut s'avérer très difficile sur les pentes fortes, d'où l'utilité de prévoir des zones de sols fortement tassés ou rocailleux (cf. § 4.1.3) pour éviter un embroussaillement de toute la superficie du remblai.

Figure 53 Prairie* et fourrés* sur remblai de stériles

Ci-dessus : une végétation prairiale s'est installée par colonisation spontanée et se maintient sans entretien depuis une dizaine d'années sur la partie sommitale du remblai.

Ci-contre : les pentes du même remblai sont par contre envahies par des fourrés denses qui seront difficiles à débroussailler.

La juxtaposition des deux milieux est actuellement favorable aux oiseaux des milieux semi-ouverts mais un embroussaillement de la prairie sommitale réduirait cet intérêt.

Carrière de granite des Deux-Sèvres.

4 Les aménagements à vocation écologique

Aménager des zones de rupture

Les verses de stériles sont plutôt caractérisées par un substrat* globalement homogène et une topographie régulière, destinée à les intégrer au mieux dans le paysage. Apporter de façon localisée des éléments modifiant la nature et la topographie du substrat augmente leurs potentialités d'accueil.

• **De gros blocs de pierre** installés sur la pente peuvent offrir des micro-habitats pour la flore rupicole* (mousses, fougères, Pariétaire...) et la faune qui peut profiter des cavités ainsi créées (reptiles, amphibiens, mammifères, insectes, mollusques, arachnides*...). La mise en place des blocs doit être intégrée aux travaux de mise en remblai, ce qui nécessite d'anticiper l'aménagement.

Figure 54 Exemple d'enrochement artificiel sur un talus de remblai

Blocs rocheux installés durant le remblaiement d'une carrière de calcaire de l'Eure et destinés à diversifier les biocénoses (PNR des Boucles de la Seine Normande).*

Figure 55 La reconstitution de pelouses calcicoles sur une carrière calcaire de Haute-Saône

Problématique : reconstituer sur un remblai de la carrière une pelouse* calcicole*, en mesure compensatoire d'une pelouse naturelle incluse dans le projet d'exploitation.

Photographies et données naturalistes :
Vincent SENECHAL. Bureau d'études SCIENCES ENVIRONNEMENT

La pelouse a été créée en 1999 par mise en place, sur des stériles de découverte, de plaquettes argileuses identiques à celles de la vue ci-dessous.

Les trois vues ci-contre montrent l'évolution de la végétation à partir de 2004.

Une végétation dense de friche thermophile, prairie* et pelouse* a d'abord colonisé les plaquettes. Les relevés floristiques réalisés entre 2004 et 2006 ont permis de constater une légère régression des plantes de friche au profit des espèces des prairies et pelouses mais l'accumulation de matière organique risquait de favoriser la friche à terme.*

Sur les conseils d'Espaces naturels comtois (CREN de Franche-Comté), une gestion de la pelouse a été mise en place à partir de 2006 par fauche annuelle, ***avant la montée en graine des espèces de friches,*** *soit vers la mi-juin. Les produits de la fauche sont sortis de la pelouse. Les ronces sont coupées annuellement au cours de l'été. En 2008, l'abondante floraison jaune de l'Hippocrépis à toupet (Hippocrepis comosa) semble signaler la progression des espèces de la pelouse.*

• **Des pelouses*** naturelles peuvent également être favorisées par régalage* d'éléments caillouteux, de manière à constituer des zones rocailleuses recouvrant totalement ou partiellement les matériaux stériles plus fins et plus argileux. Une exposition ensoleillée, dans le nord et le centre de la France, augmente les potentialités d'accueil de ce substrat* drainant pour les espèces des milieux secs et chauds.

Figure 56 Pelouse calcicole sur une pente abrupte de remblai

L'apport de stériles caillouteux, il y a une vingtaine d'années, sur cette verse d'une carrière de l'Ardèche a permis le développement progressif de pelouses sèches à Brome érigé et à Aphyllante de Montpellier (habitats d'intérêt communautaire).

Malgré une superficie restreinte sur le site, ces pelouses abritent un cortège d'espèces animales de grand intérêt parmi lesquelles on trouve un papillon protégé à l'échelon national : le Damier de la succise (Euphydryas aurinia) (Ladet & Beauvet, 2002).

On remarque le développement beaucoup plus rapide de la végétation sur les zones périphériques, du fait d'un substrat moins superficiel et d'une pente moins raide.*

Damier de la succise

Figure 57 Pelouses sur les banquettes empierrées d'un remblai

Des banquettes destinées au drainage de la verse (carrière de calcaire de la Mayenne) ont été aménagées avec une pente intérieure et empierrées. Il s'y développe une végétation de pelouse neutrophile*. L'Alsine à feuilles étroites (Minuartia hybrida), plante déterminante ZNIEFF en Pays de la Loire, y est assez abondante. Là encore, on note un contraste net entre cette pelouse et la végétation prairiale jeune mais déjà dense qui se développe sur les talus régalés de terre végétale, localement en voie d'embroussaillement.*

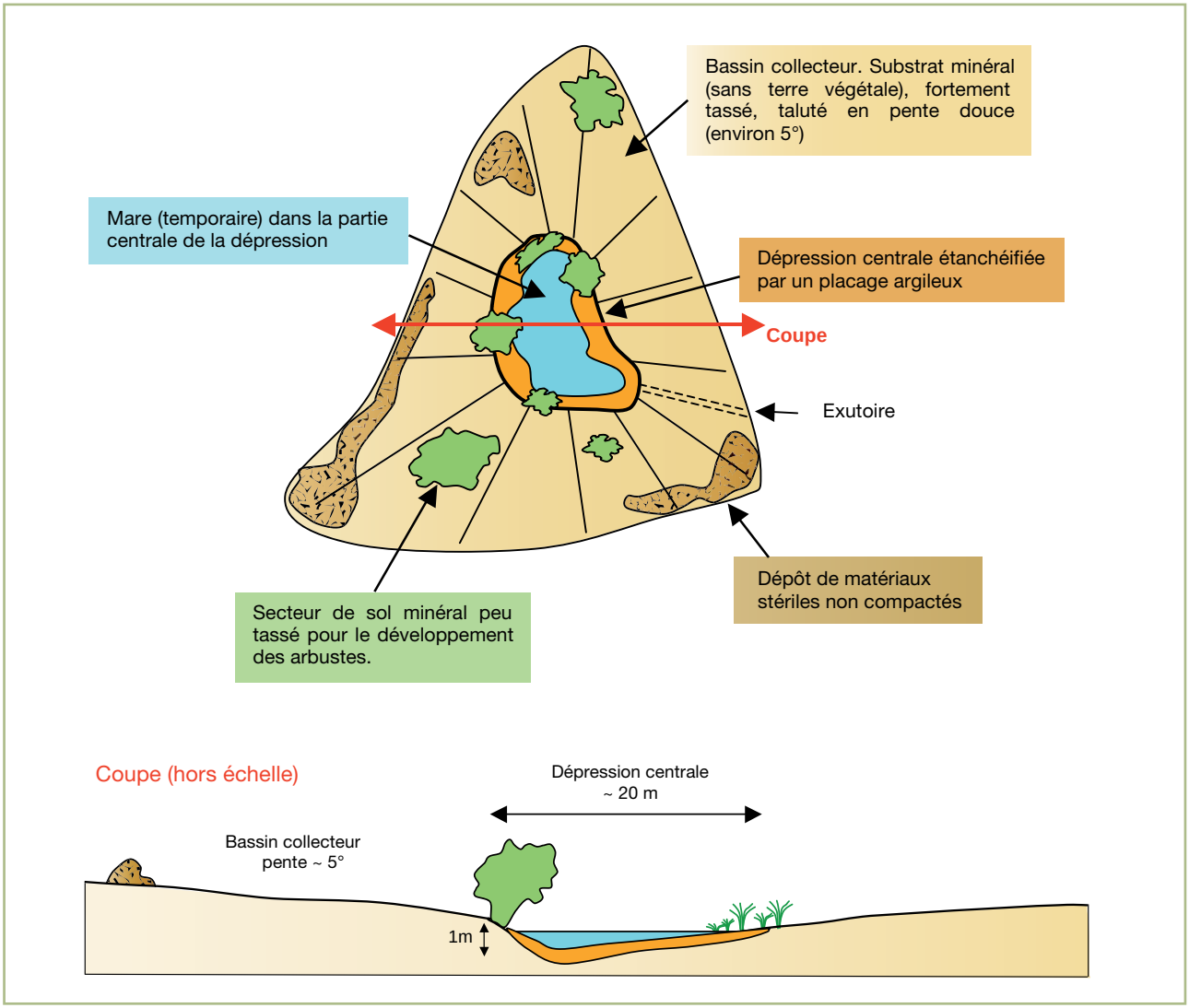
Aménager des mares

Les remblais de matériaux stériles sont pauvres en milieux aquatiques et amphibies. Pourtant, deux secteurs sont favorables à la mise en place de mares : le plateau sommital qui peut constituer un collecteur d'eaux pluviales et le pied de la verse vers lequel peuvent être dirigées les eaux de ruissellement.

• Mares sur plateau sommital

Le principe d'aménagement repose sur la création d'un bassin collecteur en pente douce au centre duquel est creusée une dépression qui va constituer une mare temporaire alimentée uniquement par les eaux pluviales (figure 58). Cet aménagement doit être réalisé si possible lors des travaux de mise en remblai, lorsque le dépôt a atteint sa cote finale.

Figure 58 Schéma de principe d'une mare aménagée sur un remblai



De manière à conserver une durée d'inondation suffisante pour la flore et la faune amphibies, les éléments suivants sont à prendre en compte :

1. la superficie du bassin collecteur dépend de la pluviométrie locale et de l'évaporation. Pour une mare d'environ 100 m^2 (niveau d'eau moyen), un bassin d'une surface minimale de 1000 m^2 est à prévoir dans les régions bénéficiant de pluies assez régulières et dont le cumul est supérieur à 700 mm/an ;
2. le substrat* du bassin collecteur doit être argileux, ce qui est généralement le cas des matériaux stériles ;

3. un compactage du substrat limite la colonisation végétale et augmente le ruissellement des eaux pluviales sur le bassin. Il limite également les apports de fines argileuses dans la mare ;

4. une étanchéification du fond de la dépression centrale avec des argiles est indispensable, sur une épaisseur d'environ 0,50 m et une surface de 200 à 300 m^2 correspondant au niveau d'eau supérieur de la mare ;

5. de manière à éviter, en cas de fortes pluies, un remplissage total du bassin collecteur qui pourrait affecter la stabilité de la verse, un trop-plein est à prévoir avec un exutoire (fossé) situé en limite des argiles (niveau d'eau supérieur de la mare). Plus globalement, des précautions sont à prendre pour éviter toute dégradation des talus (distance minimale à conserver entre la mare et le talus, risque de ravinement du talus au point de rejet du trop-plein en cas de fortes pluies...) ;

6. il peut s'avérer nécessaire de clôturer la mare pour éviter que les sangliers ne la transforment en bauge et risquent de l'assécher en supprimant localement le placage argileux.

Pour diversifier la végétation du bassin collecteur, quelques secteurs non compactés seront favorables à une colonisation herbacée* et arbustive. Par ailleurs, des dépôts de matériaux stériles de granulométrie* variée compléteront utilement ce type de milieu aquatique temporaire, en constituant des zones d'abri recherchées par les espèces d'amphibiens pionniers* susceptibles de le coloniser (Crapaud accoucheur et Crapaud calamite).

Figure 59 Aménagement de mares sur substrat drainant

L'aménagement illustré ici correspond, sur le principe, à celui d'une mare sur remblai.

Janvier 2007. *Le substrat très drainant des matériaux stériles (dépôts sablo-argileux) de cette carrière du Lot a nécessité un colmatage important du fond de la dépression par des argiles pures (matériau ocre), sur une épaisseur d'un mètre.*

Les argiles ont ensuite été régalées de terre végétale, comme les terrains périphériques.

Septembre 2008*. Malgré des apports météoriques épisodiques, les mares créées restent en eau toute l'année. Deux espèces des bas-marais acides, protégées en Midi-Pyrénées, y ont été observées : le Scirpe à tiges nombreuses (Eleocharis multicaulis – vue ci-dessous) et le Millepertuis des marais (Hypericum elodes). Le Crapaud accoucheur (Alytes obstetricans) a également colonisé ces nouveaux milieux aquatiques.*

- **Mares en pied de verse**

De nombreuses verses sont aménagées avec un système de drainage destiné à garantir la stabilité des terrains. Parfois, un bassin de décantation est installé au point de réception des eaux collectées. Ce bassin peut être aménagé en zone humide si la lame d'eau ne dépasse pas une épaisseur de 0,50 m au printemps. L'aménagement d'une berge en pente très douce (5°) au niveau des eaux de printemps augmentera encore les potentialités d'accueil de la mare.

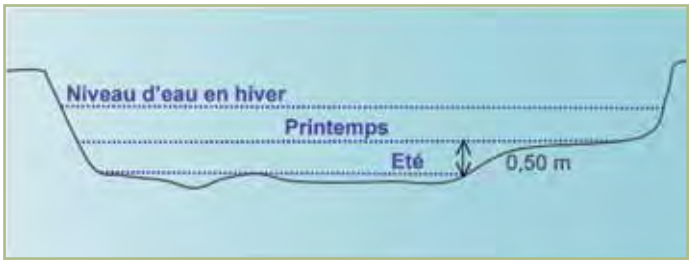


Figure 60 Bassin de décantation des eaux de ruissellement d'un remblai

Si les berges abruptes de ce bassin de décantation de remblais ne sont pas favorables à l'installation de la végétation, le colmatage progressif du fond par les fines argileuses a permis la mise en place d'une végétation aquatique et amphibie diversifiée (carrière de calcaire de la Mayenne).

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 18 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des remblais

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Entretien de la végétation			X Pente nulle ou faible	X Pente forte
Aménager des zones de rupture	Gros blocs de pierre	X		
	Pelouse	X Si surface réduite (moins de 1 000 m²)	X Nécessite un moyen de nivellement pour de grandes surfaces	
Aménager des mares	Mare sur plateau sommital		X Si réalisé lors de l'édification du remblai	X Si réalisé de façon spécifique
	Mares au pied des verses		X	

2 - Les merlons et stocks de terre végétale

1 Description

Le merlon est, par définition, un ouvrage linéaire. Sur les carrières, il est souvent constitué par la terre végétale issue des opérations de décapage et déposée en périphérie de la zone à exploiter. Sa hauteur et sa largeur varient en fonction de l'épaisseur du sol organique mais aussi selon les besoins de protection sonore et paysagère. Une hauteur de l'ordre de 3 m est courante.

Le merlon périphérique a donc une double fonction : d'une part, le stockage de la terre végétale, dans des conditions permettant de conserver au sol organique une grande partie de ses qualités agronomiques (maintien de l'activité biologique), et, d'autre part, la protection du voisinage (barrière physique limitant l'accès à la carrière, écran acoustique et visuel). Il est caractérisé par son linéaire important, qui peut atteindre plusieurs kilomètres, et souvent par la présence de terre végétale, substrat* organique quasiment absent sur le reste de la carrière.

L'entretien et l'aménagement du merlon périphérique varient selon les sites et selon sa localisation sur le site. Il fait parfois l'objet d'un traitement paysager poussé, avec ensemencement et plantations, notamment au contact des entrées de sites et au droit de secteurs habités ou fréquentés. Si les contraintes paysagères sont faibles, l'exploitant laisse souvent le merlon se végétaliser de façon spontanée et l'entretient de façon plus ou moins régulière (débroussaillage).

Enfin, le devenir du merlon est également variable sur les sites arrivés en fin d'exploitation. En tant que stock de terre végétale, il peut être arasé pour régaler la terre sur les terrains à remettre en état (cas des remises en état à vocation agricole, par exemple). Souvent, le merlon reste en place pour assurer la sécurité du site vis-à-vis du public. Ce rôle de protection est souvent renforcé par la végétation ligneuse* qui a été plantée ou qui s'est installée spontanément durant la phase d'activité du site.

Des merlons sont parfois mis en place en bordure des pistes pour la protection des engins, le plus souvent à l'aide de matériaux stériles* ou minéraux. Ces merlons ne sont pas concernés par cette fiche

Figure 61 Merlons paysager et « naturel »

Ci-dessus : merlon périphérique d'une carrière de calcaire de Meurthe-et-Moselle, sans entretien particulier. Une végétation abondante et diversifiée de friche s'y développe. La clôture renforce la sécurité de cet élément de protection.

Ci-contre : merlon périphérique d'une carrière de calcaire de la Marne qui a fait l'objet de plantations arbustives et qui est entretenu par fauche régulière.

La terre végétale est parfois stockée en dépôts non linéaires, notamment lorsque le volume est trop important pour être contenu dans les merlons périphériques.

Figure 62 Stocks de terre végétale

Stock de terre végétale récent (ci-contre) et stock de deux ans (ci-dessus), respectivement sur des carreaux de carrières d'Ille-et-Vilaine et de Dordogne.

Tableau 19 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux merlons périphériques

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen				
Enjeu fort				

Le merlon périphérique est un élément important de protection, à caractère réglementaire. Pour la sécurité du public, il permet de délimiter sans ambigüité la zone en chantier. Il constitue également un écran sonore efficace pour les riverains.

Son rôle paysager est moins évident : s'il permet de masquer assez souvent l'activité industrielle, il constitue parfois un point d'appel visuel plus important que ce qu'il doit masquer. Pour limiter cet impact, certains merlons font l'objet d'un traitement paysager (entrée de site, bordure de route...) par ensemencement et/ou plantations.

Figure 63 Merlon paysager fleuri d'entrée de site

2 Intérêt écologique

2.1 Habitats naturels

Les merlons sont des milieux mal connus des carrières car ils sont colonisés par des formations végétales plus banales que celles des milieux minéraux. Sur un merlon de terre végétale colonisé naturellement par la végétation, plusieurs formations végétales se succèdent selon une dynamique rapide et identique à celle d'une terre arable laissée en friche. La succession habituelle est la suivante (figure 64) :

Figure 64 Dynamique de la végétation des merlons de terre végétale

1. Le sol organique remanié est d'abord colonisé par une flore caractéristique des terres régulièrement remaniées, riche en plantes annuelles* et bisannuelles* nitrophiles* de la classe des Stellerietea mediae (*Stellaria media, Anagallis arvensis, Convolvulus arvensis, Matricaria perforata, Veronica persica*...).

2. Une végétation de friche dense nitrophile s'installe rapidement, souvent dès la deuxième année. Les espèces annuelles sont concurrencées par une flore dominée par des plantes bisannuelles et vivaces* appartenant aux classes des *Sisymbrietea officinalis* et des *Artemisietea vulgaris* (*Cirsium arvense, Silene alba, Daucus carota, Dipsacus fullonum, Picris hieracioides, Melilotus albus*...).

Mélange d'espèces annuelles, bisannuelles* et vivaces* sur ce merlon d'une carrière du Loiret. On reconnaît les fleurs rouges du Coquelicot (Papaver rhoeas), les fleurs blanches de la Matricaire inodore (Matricaria perforata) et les fleurs bleues de la Vesce à crapaud (Vicia cracca).*

3. Après quelques années, les graminées vivaces tendent à prendre le dessus pour former des friches à physionomie prairiale (*Arrhenatherum elatius* subsp. *bulbosus, Elymus repens, Bromus hordeaceus, Dactylis glomerata, Holcus lanatus*...). Des fourrés* de la classe des *Crataego-Prunetea* commencent à s'installer de façon concomitante, notamment des ronciers, et sont accompagnés par une flore des lisières nitrophiles* (*Galium aparine, Bromus sterilis, Urtica dioica*...).

Ci-dessus : merlon d'une carrière de calcaire de la Vienne, largement colonisé par une graminée « sociale », le Chiendent rampant (Elymus repens).

Ci-contre : la Ronce des bois (Rubus gr. fruticosus) a recouvert la plus grande partie de ce merlon d'une carrière du Loiret.

La végétation reste ensuite souvent bloquée au stade de fourrés* plus ou moins denses. Des peuplements arbustifs, voire arborés, forment localement des formations que l'on peut assimiler à des haies bocagères.

Une carrière est souvent ceinturée de merlons d'âges différents, donc occupés par un ensemble plus ou moins diversifié de formations végétales.

2.2 *Flore*

La flore des merlons de terre végétale est peu spécialisée* mais souvent diversifiée, surtout si de nombreux stades sont présents sur la même carrière.

Des espèces à forte valeur patrimoniale sont observées, essentiellement dans les premiers stades de colonisation. En effet, le substrat* organique récemment remanié constitue toujours un milieu d'accueil pour les plantes annuelles et l'absence de traitement phytosanitaire favorise la germination d'espèces messicoles* rares, parfois encore présentes dans la banque de graines du sol.

Figure 65 Adonis d'automne

L'Adonis d'automne (Adonis annua) sur un merlon récent d'une carrière de la Vienne. Cette plante annuelle caractéristique des champs de céréales est en forte régression. Elle est déterminante ZNIEFF dans la Vienne.

2.3 *Faune*

2.3.1 *Invertébrés*

Sur les zones de terre à nu riches en éléments sableux ou argileux se créent parfois des microfalaises qui peuvent être des zones attractives pour les insectes fouisseurs tels que de nombreux hyménoptères*.

Sur les zones colonisées par la végétation, c'est la richesse floristique qui conditionne la présence des invertébrés. Les plantes nectarifères* sont attractives pour les insectes pollinisateurs (papillons, hyménoptères*, diptères*...) tandis que les graminées* favorisent la présence d'invertébrés herbivores (orthoptères* par exemple).

Figure 66 Deux espèces d'insectes liées aux orties et se reproduisant dans les friches des merlons

Paon du jour

Petite Tortue

On constate en France une régression significative des populations de papillons depuis une vingtaine d'années, probablement du fait d'une utilisation généralisée des insecticides.

La Petite Tortue, espèce autrefois abondante et qui se reproduit sur les orties, plantes pourtant communes, est un témoin notable de cette régression (Albouy, 2008).

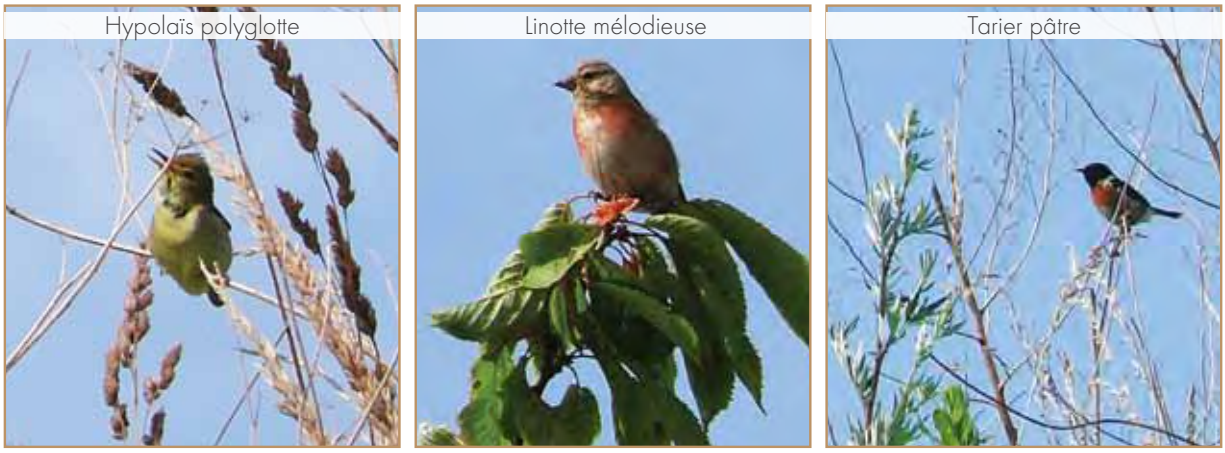
En tant qu'élément linéaire, le merlon est un corridor* écologique important pour les invertébrés qui ont des capacités de dispersion souvent plus limitées que les vertébrés. Les merlons représentent, pour cela, une opportunité de colonisation de la carrière qui est importante pour le devenir du site.

2.3.2 *Vertébrés*

Peu de données sont disponibles sur l'utilisation des merlons par la faune vertébrée.

La présence d'insectes et de plantes des friches attirent les oiseaux pour leur alimentation. Les espèces granivores comme le Chardonneret élégant ou la Linotte mélodieuse, qui se nourrissent de fruits de chardons, sont régulièrement observées. Par ailleurs, la présence de fourrés* permet la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux liées aux milieux semi-ouverts.

Figure 67 Trois espèces d'oiseaux communs d'un merlon d'une carrière du Loiret



Ces trois espèces sont caractéristiques des milieux ouverts parsemés de fourrés (milieux semi-ouverts). Elles sont encore communes en France mais les effectifs nicheurs du Tarier pâtre et surtout ceux de la Linotte mélodieuse sont en régression sensible. Ce constat a conduit les ornithologues à inscrire la Linotte mélodieuse sur la liste rouge des espèces menacées en France, avec le statut d'espèce vulnérable (UICN France et MNHN, 2008).*

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 20 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des merlons

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables
Linéaire important de merlons qui favorise la dissémination des plantes et le déplacement des animaux au sein de la carrière, ce qui permet une diversification des habitats.	
Formations végétales diversifiées et complémentaires (zones d'alimentation et de reproduction).	**Entretien** trop fréquent ou à la mauvaise période.
Âges variés permettant le développement de formations à différents stades (friche, prairie, fourré...).	**Semis ou plantations peu adaptés** (Thuyas, paillage plastique ...)
Expositions variées qui favorisent le développement de peuplements floristiques et faunitisques qui recherchent ou non chaleur et sécheresse.	

Quel est l'intérêt écologique des merlons ?

- Seul milieu de la carrière (et parfois des abords) qui peut abriter une végétation de friche sur terre végétale et certains insectes associés (Petite Tortue par exemple).
- Zone d'alimentation (et de reproduction) pour de nombreux animaux.
- Corridor écologique en périphérie de la carrière.

3 La gestion écologique au quotidien

Gérer la végétation des merlons

Pour les travaux d'entretien courants, tels que la fauche, on se reportera aux préconisations du paragraphe 4.5. L'emploi de traitements phytosanitaires et d'insecticides est bien sûr fortement déconseillé, même en présence de chardons (cf. § 2.4.3).

Pour augmenter les potentialités d'accueil des merlons, il est préférable d'avoir une juxtaposition d'habitats différents plutôt que de laisser par exemple les fourrés envahir l'ensemble des merlons du site. Cette diversité existe naturellement tant que de nouveaux merlons sont édifiés mais tend à régresser lorsque les merlons vieillissent.

Cette répartition en mosaïque peut être réalisée à différentes échelles d'espaces : sur quelques m^2, en juxtaposant par exemple une zone de fourrés* et une végétation de prairie*, ou sur plusieurs dizaines de mètres, en alternant régulièrement une friche dense, une végétation de prairie, une plantation arbustive, une pelouse* rase (cf. infra), des fourrés, etc. Une juxtaposition irrégulière, alternant des séquences de différentes longueurs, est préférable sur le plan paysager.

Des travaux spécifiques de maintien des habitats au stade souhaité sont nécessaires pour les formations herbacées* : travaux de rajeunissement périodique pour les friches (cf. paragraphe suivant) et travaux de fauche pour les végétations prairiales (cf. § 4.5).

Conserver des friches de plantes annuelles

La flore des terres cultivées ne s'exprime que difficilement du fait des fortes contraintes imposées aux cultures (traitements répétés, périodes de repos de courte durée). Les merlons édifiés avec des terres arables peuvent donc constituer des zones de substitution pour cette flore qui contient parfois des espèces rares.

La mise en place de « friches de plantes annuelles » nécessite de traiter la surface du merlon comme une terre cultivée, en la « labourant » à l'aide des dents du godet d'une pelle mécanique, perpendiculairement à l'axe du merlon (de bas en haut), en début ou en fin d'hiver.

Pour obtenir un résultat optimal, il faut répéter cette opération tous les ans ou tous les deux ans. Mais on peut aussi laisser une friche dense s'installer pendant quelques années puis retourner l'ensemble pour recommencer un nouveau cycle. Dans ce cas, les plantes bisannuelles et vivaces resteront cependant bien présentes au sein de la friche.

Il est préférable de disperser les zones rajeunies sur deux ou trois secteurs plutôt que de les concentrer en un seul point.

La gestion des stocks de terre végétale

La terre végétale est souvent riche en semences et en substances nutritives. De ce fait, il est important qu'elle ne vienne pas « contaminer » les habitats oligotrophes* que l'on souhaite mettre en place sur la carrière.

Les merlons périphériques ne peuvent pas perturber les habitats neufs de la carrière du fait de leur localisation. Le risque est plus important avec les stocks de terre végétale qui sont parfois disséminés sur le site et peuvent, par exemple, enrichir les mares d'un carreau en nitrates par simple ruissellement des eaux pluviales. Il importe donc de conserver les stocks de terre végétale sur la périphérie de la carrière (ce qui est souvent le cas).

4 Les aménagements à vocation écologique

Diversifier les habitats des merlons

Au-delà de la diversité qui peut résulter d'une gestion et d'un entretien de la végétation généralement dense des merlons, la diversité de ce secteur de l'exploitation peut être améliorée par des aménagements visant soit à créer des formations à végétation éparse, de type pelouse, soit des formations ligneuses* diversifiées.

- La création de **pelouses*** sur un merlon de terre végétale permet surtout de profiter des pentes exposées au soleil que peut offrir cet élément de relief, cette situation étant très favorable aux plantes et animaux thermophiles* en dehors de la région méditerranéenne.

  Les pelouses sont aménagées par apport de blocs rocheux répartis régulièrement sur la surface du merlon, sur une seule couche, de manière à obtenir l'équivalent d'une dalle rocheuse. Toute la hauteur du merlon est recouverte, et si possible les deux faces de façon à éviter des apports directs de semences de plantes de friches. On peut recouvrir en totalité ou partiellement la terre végétale selon le degré de couverture végétale que l'on souhaite. Des variations dans le taux de recouvrement minéral permettent de définir par la suite le recouvrement le plus adapté à la formation recherchée. Une surface minimale de quelques centaines de m^2 est nécessaire du fait des perturbations liées aux contacts avec les formations végétales denses.

Figure 68 Merlon empierré

Ce merlon de terre végétale a été partiellement empierré en 2005 avec de petits blocs calcaires (vue ci-contre). La roche limite l'installation des plantes de friches, au profit d'espèces des pelouses et prairies maigres (2008, vue ci-dessous).

- La terre végétale du merlon constitue, par ses qualités agronomiques (présence d'une microfaune et d'une microflore diversifiées, structure physico-chimique assurant une bonne rétention de l'eau, etc.), un support idéal pour des plantations **d'essences buissonnantes, arbustives ou arborescentes** qui ne trouvent pas sur les sols minéraux de la carrière des conditions favorables à leur développement. Le fait que le merlon repose sur le sol en place permet en outre un développement racinaire important, indispensable à la croissance des arbres.

  La plantation **d'espèces buissonnantes à baies**, qui apportent une source de nourriture très recherchée par les oiseaux en période hivernale, renforce l'intérêt du merlon en tant que zone d'alimentation.

  Les **essences arborescentes** augmentent les potentialités d'accueil du merlon pour la reproduction des oiseaux liés à ce type de structure végétale (Grimpereau des jardins, Pic épeiche, Sittelle torchepot, mésanges...).

  Les modalités techniques de plantation figurent au paragraphe 4.6.2.

Figure 69 Merlon arboré

Merlon d'entrée de site aménagé par plantation d'essences arborescentes, âgé d'une quinzaine d'années. Carrière de diorite de Vendée.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 21 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des merlons

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Travaux d'entretien		x	
	Conservation de friches annuelles	x		
Aménagements	Création de pelouses	x		
	Plantations		x	x

3 - Les zones décapées

1 Description

Le décapage est l'opération qui consiste à retirer le sol organique (la terre végétale) puis l'horizon minéral altéré (terres ou stériles* de découverte) qui recouvrent le gisement, afin de permettre l'exploitation de ce dernier. Généralement, les deux types de substrats* sont décapés de façon sélective, l'un après l'autre, pour être réutilisable lors des opérations de remise en état (cf. § 2.4.1).

L'épaisseur de substrat organique varie de quelques centimètres (sols très superficiels) à près d'un mètre (sols profonds). Celle des stériles de découverte est souvent de l'ordre de un à deux mètres mais peut atteindre jusqu'à une dizaine de mètres.

On peut donc distinguer deux types de zones décapées (Figure 70) : celle où seule la terre végétale a été enlevée, avec un substrat caractérisé alors par une roche altérée sur laquelle subsiste un peu de sol organique, et celle qui correspond au toit du gisement sain. Dans ce dernier cas, le substrat ressemble beaucoup à celui d'un carreau ou d'une banquette.

Figure 70 Les deux types de zones décapées

On distingue sur cette vue aérienne d'une carrière de grès de la Manche le front de décapage de la terre végétale (1a), la zone décapée 1b qui en résulte (occupée par une piste, sauf sur la partie droite de la vue où on constate une reprise de la végétation), le front des stériles de découverte (2a) et la zone décapée 2b qui forme le toit du gisement sain.

En cours d'exploitation, les surfaces décapées sont variables mais rarement très importantes puisqu'elles avancent en même temps que les fronts en exploitation. Le « front » de terre végétale se situe assez souvent à une distance de l'ordre d'une centaine de mètres du front de taille tandis que le front des stériles est un peu plus rapproché.

Ce secteur de l'exploitation présente donc, normalement, un caractère temporaire.

Aux opérations de décapage sont associés des travaux de défrichement sur les secteurs boisés.

Figure 71 Zone décapée sur une carrière de la Beauce

Secteur en cours de décapage sur une carrière de calcaire d'Eure-et-Loir (Beauce).

Le gisement exploitable se situe quasiment au contact de l'horizon organique.

2 Intérêt écologique

2.1 Habitats naturels

Ce secteur de l'exploitation a été peu étudié, soit du fait de son caractère temporaire et minéral au sein de l'exploitation, soit parce qu'il occupe une position marginale et une surface réduite, en périphérie de la fosse.

Si le substrat est peu fracturé et pauvre en terre végétale, les zones décapées sont colonisées par des habitats de carreaux secs : pelouses* silicicoles* et calcicoles*, landes* à éricacées* (sur grès armoricain). On observe également, mais plus rarement, des formations hygrophiles* de carreau humide (cf. figures 109 et 111). Quand le substrat est fracturé et/ou riche en terre végétale, ce sont plutôt des formations de remblais qui s'installent : friches en partie nitrophiles*, végétation prairiale et fourrés*.

Figure 72 Habitats se développant sur des zones décapées

Végétation de friche et fourré sur une zone décapée riche en terre végétale

Sur ce substrat minéral d'une carrière calcaire des Deux-Sèvres se développe une végétation de pelouse calcicole sableuse à Vulpie queue-de-rat et Trèfle jaune.

2.2 Flore

Les zones décapées abritent 31% de la flore observée sur les carrières, dont 10 % (9 espèces) de la flore déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008). Par station inventoriée, on observe en moyenne 31 espèces, dont 0,5 espèce déterminante ZNIEFF. Il s'agit donc de milieux à flore assez diversifiée mais pauvre en espèces sensibles.

Figure 73 La Sabline des chaumes

Parmi les espèces caractéristiques des zones décapées, on peut mentionner la Sabline des chaumes (Arenaria controversa). Cette plante calcicole annuelle, protégée au niveau national, voit parfois ses populations se développer de façon explosive sur les terrains décapés des carrières calcaires du centre-ouest de la France, la mise à jour de la banque de graines du sol, le remaniement des terrains et l'absence momentanée de concurrence lui étant alors très favorables.*

2.3 Faune

2.3.1 Invertébrés

Les milieux décapés, s'ils ne sont pas exploités immédiatement, se végétalisent et voient rapidement arriver des espèces pionnières* caractéristiques. Certains insectes, comme les **orthoptères***, abondent sur ces milieux ras et herbacés* : ainsi, près du tiers des espèces contactées en carrière l'ont été sur des milieux décapés (ENCEM, 2008). Les mares temporaires permettent également la reproduction de certains insectes amphibies comme les **odonates*** si les apports pluviométriques sont suffisants

2.3.2 *Vertébrés*

Au printemps, plusieurs espèces d'**oiseaux** sont susceptibles de s'installer à même le sol pour y nicher. On retrouve sur les terrains décapés un cortège proche de celui observé sur les carreaux minéraux peu perturbés par l'activité humaine, dont plusieurs espèces à forte valeur patrimoniale : Œdicnème criard, Petit Gravelot, Alouette lulu, Alouette calandrelle, Pipit rousseline, Cochevis huppé... Leur discrète reproduction au sol rend parfois leur détection difficile.

Après de fortes ondées printanières, la formation de mares temporaires peut également voir la reproduction d'**amphibiens** pionniers* tels que le Crapaud calamite.

Figure 74 Deux espèces pionnières colonisant rapidement les zones décapées

Les têtards de Crapaud calamite sont parfois nombreux dans les mares temporaires qui se forment au printemps dans les dépressions des zones décapées mais peu atteignent le stade adulte. Carrière de calcaire d'Eure-et-Loir.

Œdicnème criard nichant sur une zone décapée d'une carrière de calcaire d'Eure-et-Loir (Beauce). Cette espèce d'intérêt communautaire se reproduit sur de nombreuses carrières de cette région.

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 22 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des zones décapées

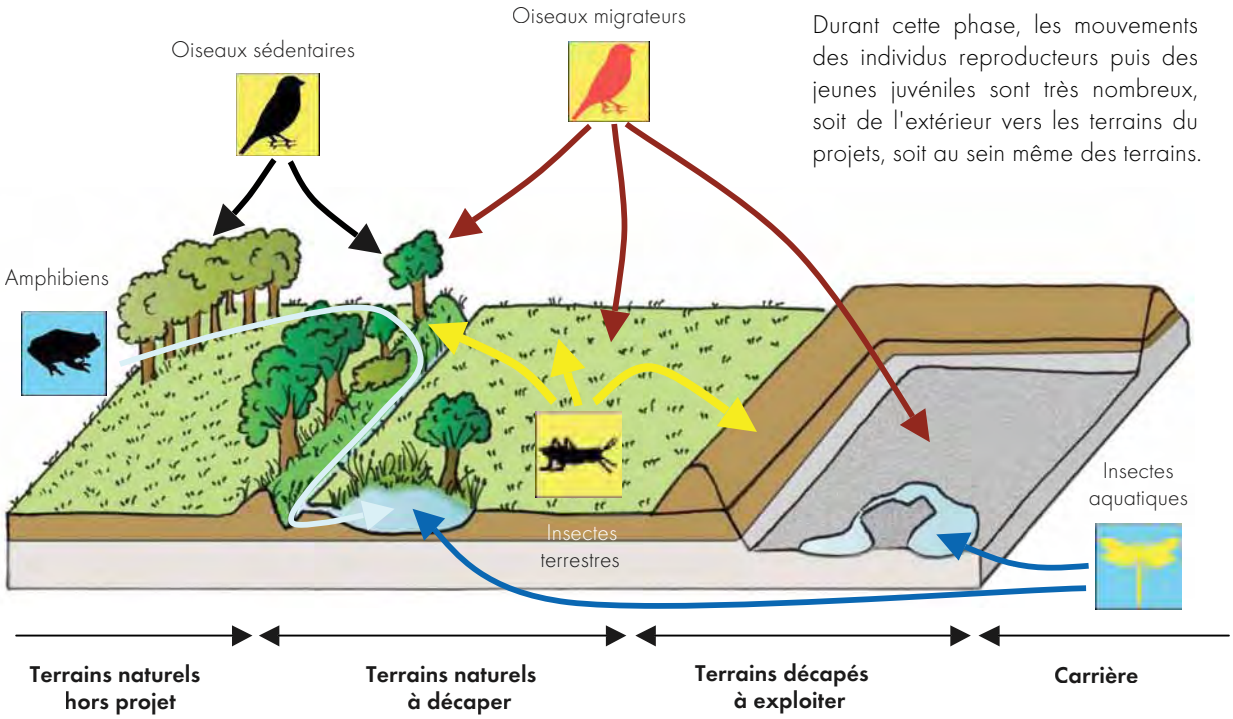
Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteur défavorable
Milieu ouvert à végétation herbacée se développant assez rapidement (graines du sol, roche superficielle fracturée) **tout en restant assez basse** (substrat rocheux). **Quiétude du secteur** entre la phase de décapage et la phase d'exploitation (pas d'interventions humaines régulières).	**Effet « puits »** généré par des milieux attractifs mais destinés à être détruits rapidement (destruction des individus ayant colonisé le milieu : insectes, larves d'amphibiens, nichées d'oiseaux...).

Quel est l'intérêt écologique des zones décapées ?

- Milieu ouvert, rocailleux, situé au contact des milieux agricoles ou forestiers périphériques et donc facilement accessible, bénéficiant d'une totale quiétude, favorable à certains animaux.
- Milieu au substrat assez compact, qui permet le maintien de milieux ouverts sur la périphérie des carrières inexploitées.

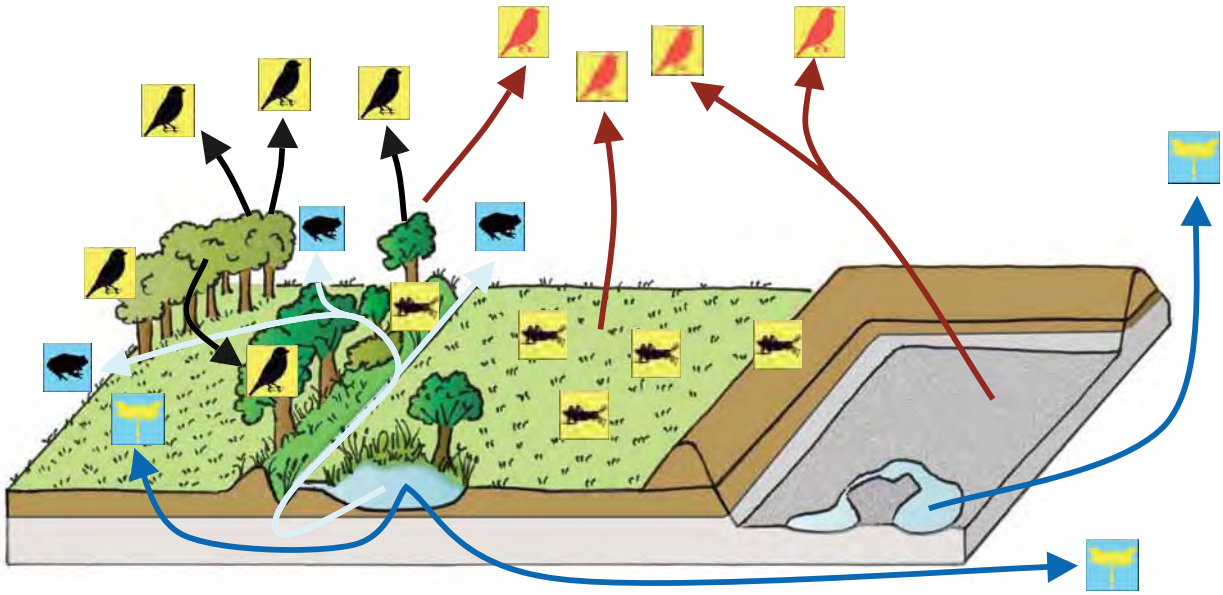
Figure 75 Schéma des mouvements saisonniers de la faune sur une zone à décaper et une zone décapée

1. Printemps. Période de reproduction de la faune



Durant cette phase, les mouvements des individus reproducteurs puis des jeunes juvéniles sont très nombreux, soit de l'extérieur vers les terrains du projets, soit au sein même des terrains.

2. Eté. Période de dispersion de la faune



Une fois la reproduction terminée, les adultes migrent vers leurs quartiers d'hiver, sur des distances très variables, et les juvéniles se dispersent vers de nouveaux territoires, sur des distances similaires à celles des adultes.

Une fois la dispersion réalisée, le remaniement des terrains ne concerne plus qu'une partie assez réduite des individus qui se sont reproduits sur les terrains.

3 La gestion écologique au quotidien

Limiter l'impact des opérations de décapage et de défrichement

Les travaux de décapage et de défrichement sont ceux qui entraînent la disparition des biotopes* et des biocénoses* en place sur les terrains à exploiter. Il importe donc de veiller à limiter cet impact **en évitant si possible toute intervention durant la principale période d'activité de la faune, c'est-à-dire du début du mois de mars à la fin du mois de juillet** (et si possible septembre). Le respect de cette mesure de précaution a d'autant plus d'intérêt que le milieu est biologiquement riche : forêt, haie bocagère, prairie* naturelle, pelouse* naturelle...Si possible, les **coupes** d'arbres, d'arbustes et d'arbrisseaux doivent également être réalisées en dehors de cette période d'activité.

Au delà de ce cadre général, il peut être nécessaire d'étendre ou d'adapter cette période de non-intervention en fonction de la présence d'espèces particulières, comme par exemple la Grenouille rousse qui se reproduit au mois de février dans la partie ouest de la France.

Cette mesure ne permet pas d'éviter la destruction de certains animaux, notamment ceux qui hivernent sur les terrains à décaper (insectes, gastéropodes, amphibiens, reptiles, mammifères...) mais elle permet de ne pas affecter les individus venant se reproduire sur les terrains et ceux issus de cette reproduction (Figure 75).

Limiter l'effet « puits* »

(= milieux où le taux de mortalité est supérieur au taux de natalité)

- Comme pour les travaux de décapage, l'effet « puits » sera limité si les travaux d'extraction au niveau des terrains décapés sont réalisés en dehors de **la principale période d'activité de la faune**.
- Si la planification dans le temps des travaux d'extraction au niveau des terrains décapés n'est pas possible, il est préférable que la surface décapée soit aussi réduite que possible, de manière à ce que la flore et la faune n'aient pas le temps de s'y installer.
- Enfin, s'il n'est pas possible de réduire la surface décapée, une veille écologique par des naturalistes locaux peut s'avérer utile, surtout si les terrains sont susceptibles d'abriter des espèces à forte valeur patrimoniale (Œdicnème criard par exemple) pour définir d'éventuelles modalités de protection (date prévisible de reprise de l'activité, secteur à éviter...).

Conserver et gérer des zones décapées

Pour diverses raisons, il arrive que des zones décapées ne soient pas exploitées (abords d'une piste ou d'une bande transporteuse, par exemple). Elles peuvent alors faire l'objet, d'une part, de mesures de protection visant à empêcher l'accès des engins (blocs rocheux) et, d'autre part, d'une gestion de leur végétation, notamment si les fourrés* tendent à les envahir. On se reportera aux préconisations du chapitre 4.5 pour les travaux courants (fauche, débroussaillage...).

Figure 76 **Zone décapée maintenue en place en périphérie d'un site d'extraction** (Eure-et-Loir)

Cette zone décapée et mise à l'écart de l'exploitation par des blocs de protection a vu le développement d'une intéressante végétation pionnière de plantes annuelles et de bryophytes. Qui plus est, malgré une surface très restreinte (< 1000 m²), elle accueille deux espèces nicheuses d'intérêt : l'Œdicnème criard et le Cochevis huppé.*

4 Les aménagements à vocation écologique

Créer des zones décapées en périphérie de l'exploitation

Le décapage de la terre végétale (ou étrépage*) est un moyen de rajeunir un milieu sans le remanier totalement. On peut distinguer deux types de décapage :

- un décapage superficiel, destiné à enlever la végétation en place tout en conservant une grande partie des graines et des propagules* du sol (bulbes, rhizomes*...). Ces travaux sont plutôt destinés à la restauration de milieux naturels dégradés, soit par l'extension d'une plante dominante, soit par un enrichissement du sol en éléments nutritifs (cf. figure 78) ;
- un décapage profond, presque jusqu'à la roche mère, favorable à la reconstitution d'habitats pionniers*. Cette opération doit cependant être limitée à des milieux de faible valeur biologique (terre cultivée) et de faible valeur agronomique ou sylvicole. Des aménagements complémentaires peuvent y être réalisés.

Aménager des mares temporaires

Comme sur les carreaux ou les remblais, la création de dépressions sur les zones décapées augmente notablement leur intérêt écologique.

La situation de milieux aquatiques, mêmes temporaires, *à proximité immédiate* des milieux agricoles et forestiers, est notamment favorable aux amphibiens, dont les possibilités de déplacement sont assez réduites. Ces milieux constituent également des zones d'abreuvage pour de nombreux animaux (oiseaux, mammifères...).

Figure 77 Mare permanente d'une zone décapée

Cette zone décapée dans une pâture il y a une quinzaine d'années sert de mare-abreuvoir. Sur les berges terreuses s'est développé un groupement de grève à littorelle qui constitue un habitat d'intérêt communautaire et qui abrite deux espèces rares : la Littorelle à une fleur (Littorella uniflora, à droite), plante protégée au niveau national, et l'Élatine à six étamines (Elatine hexandra). Carrière de diorite de Vendée.

Figure 78 Exemple de restauration de pelouses* calcicoles* par décapage

Problématique : restaurer par décapage d'anciennes pelouses calcicoles dégradées par un pâturage intensif

En bordure d'une carrière de calcaire primaire du Maine-et-Loire subsiste un ensemble de pelouses calcicoles* plus ou moins à l'abandon, propriété de la carrière. Un secteur servant à l'hivernage de bovins, partiellement dégradé par le piétinement du bétail et l'apport de matière organique, a fait l'objet d'un essai de restauration en avril 2000, par décapage de la partie superficielle du sol (140 m³ ont été évacués). Les travaux ont été réalisés par une association locale, en partenariat avec l'exploitant de carrière. L'opération a été étendue durant l'hiver 2007-2008 sur une surface complémentaire de 1500 m², dans le cadre d'un contrat Natura 2000.*

Le suivi floristique annuel a permis de constater un retour des espèces de la pelouse d'origine, notamment la réapparition de l'Ophrys araignée (Ophrys aranifera ; vue de gauche) et un accroissement notable de la population d'Orchis homme-pendu (Aceras antropophorum), deux orchidées rares en Pays de la Loire. Un pâturage extensif par des moutons a été mis en place pour empêcher le retour des fourrés*. Un projet de réserve naturelle régionale est à l'étude.*

Photographies et données naturalistes : CPIE Loire et Mauges.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 23 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des zones décapées

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Planification dans le temps		X Si décapage réalisé par le carrier	X Si travaux sous-traités*
Aménagements	Créer des zones décapées en périphérie	X Si réalisé pendant les travaux de décapage	X Si réalisé de façon spécifique	
	Plantations		X	

** Les opérations de décapage sont parfois réalisées par des entreprises spécialisées qui interviennent en sous-traitance. Leur planification au cours de l'année n'est donc pas uniquement du ressort de l'exploitant de carrière. Imposer une période spécifique de décapage à l'entreprise peut donc se traduire par un surcoût.*

4 - Les fronts de taille

1 Description

Les fronts de taille forment l'ossature des carrières de roches massives. Ces parois subverticales (pentes d'environ 80°) ou en pente forte (80 à 60° si la roche présente un pendage*) résultent de l'abattage de la roche, le plus souvent à l'explosif (tirs de mines), parfois par extraction à la pelle mécanique (calcaires tendres ou fracturés).

Si, dans les anciennes carrières, les fronts pouvaient présenter des hauteurs importantes en fin d'activité (quelquefois plus de 100 mètres de hauteur d'un seul tenant), la réglementation impose aujourd'hui une exploitation en gradins de hauteur limitée à 15 mètres au maximum (des dérogations sont nécessaires pour des hauteurs supérieures. cf. § 2.4.1). Dans les carrières en fosse profonde ou à flanc de coteau, les différents gradins sont séparés par des banquettes d'une largeur de plusieurs dizaines de mètres en cours d'exploitation et souvent réduites à quelques mètres au niveau des fronts arrivés en position ultime.

Figure 79 Fronts de taille quelques années après leur exploitation

Ci-dessus : carrière de roche éruptive de la Mayenne, inexploitée depuis une vingtaine d'années. Les différents gradins d'exploitation, d'une hauteur de 15 m, sont séparés par des banquettes résiduelles où s'accumulent des éboulis. La colonisation végétale s'opère sur les zones de pentes moins abruptes et à la faveur de fissures où le substrat* organique en provenance du sommet s'est peu à peu accumulé.*

Ci-contre : front calcaire d'une carrière du Cher, d'une dizaine de mètres de haut, exploité à la pelle mécanique et laissé en l'état depuis plus de 20 ans. Les strates horizontales de sédimentation apparaissent nettement.

Tableau 24 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux fronts de taille

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible		Plaine (hors vallées)		
Enjeu moyen				
Enjeu fort		Vallées, collines et montagnes		

Deux enjeux importants pèsent sur les fronts de taille :

- la sécurité du personnel et du public constitue un enjeu majeur, qui a conduit à limiter la hauteur des gradins en exploitation à 15 m et imposer la mise en sécurité des fronts comme mesure prioritaire lors de la remise en état (cf.§ 2.4.1) ;
- le traitement paysager des fronts en position ultime représente la seconde priorité pour les exploitants en régions de collines et de montagnes (fronts visibles de loin).

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

Les habitats naturels des fronts de taille sont peu étudiés du fait de leur accessibilité réduite.

Les habitats qui se développent sur les fronts inexploités se rapprochent de ceux des falaises et parois rocheuses naturelles. La flore vasculaire* rupicole* est étroitement liée à la présence de fissures, donc au degré de fracturation de la roche.

En situation plutôt ombragée et sur des roches peu fracturées se développe localement une végétation vivace des parois et des murs, de la classe des *Asplenietea trichomanis*, à végétation souvent clairsemée. La flore est dite chasmophytique*(liée aux fissures de la roche dans lesquelles s'enfoncent les racines) et riche en fougères (Figure 80). Il s'agit d'habitats d'intérêt communautaire intitulés « Pentes rocheuses calcaires avec végétation chasmophytique » (code Natura 2000 : 8210) et « Pentes rocheuses siliceuses avec végétation chasmophytique » (code Natura 2000 : 8220).

Figure 80 Végétation herbacée* rupicole* sur une carrière d'amphibolite du sud de l'Indre

Des groupements de plantes crassulescentes (plantes à feuilles épaisses comme les joubarbes et les orpins) de la classe des *Sedo-Scleranthetea* (groupement des dalles rocheuses) sont parfois observés sur des zones de replat (figures 81 et 95). Cette végétation correspond à un habitat d'intérêt communautaire sur les roches siliceuses (Roches siliceuses avec végétation pionnière* du *Sedo-Scleranthion* ou du *Sedo albi-Veronicion dillenii* – code Natura 2000 : 8230).

Les fissures larges et les zones de replat (corniches) où s'accumulent des dépôts minéraux et organiques sont colonisées par une flore moins spécialisée, notamment des plantes des friches vivaces et annuelles. La végétation ligneuse pionnière (saules, bouleaux, genêts...) y est également bien représentée (Figure 79).

Les parois lisses imperméables (roches éruptives) ne permettent bien souvent que le développement d'associations cryptogamiques* dominées par les lichens.

2.2 *Flore*

Comme les habitats et pour les mêmes raisons, la flore rupicole* des carrières est mal connue. Ceci explique en partie le faible nombre d'espèces recensées au cours des prospections de terrain : 13,3 espèces en moyenne par station et 4 % seulement de la flore observée (ENCEM, 2008).

La flore patrimoniale est de ce fait peu représentée (0,7 espèce déterminante ZNIEFF par station - ENCEM, 2008). À titre d'exemple, on peut citer la présence de deux plantes protégées : une fougère sur une carrière d'amphibolite de l'Indre (figure 80), l'Aspidium à cils raides (*Polystichum setiferum*), et un orpin (*Sedum sediforme*) sur une carrière calcaire des Pyrénées-Atlantiques (figure 81).

Figure 81 Orpin élevé *(Sedum sediforme)*

2.3 *Faune*

La première richesse des fronts de taille est sans aucun doute l'**avifaune*** qui s'y établit, essentiellement en période de reproduction. Si les fronts présentent une diversité limitée en nombre d'espèces (20 espèces contactées pour 88 contacts lors des prospections sur 35 sites), leur intérêt patrimonial est en revanche important puisqu'ils se classent en deuxième position en termes d'espèces déterminantes (24 % des occurrences ; ENCEM, 2008).

Le peuplement avifaunistique se scinde en deux principaux groupes :

- les **oiseaux rupestres***, d'ordinaire inféodés aux falaises et qui trouvent là des milieux de substitution pour se reproduire, notamment en région de plaine. Il s'agit du Faucon pèlerin, du Grand-Duc d'Europe, du Grand Corbeau, du Martinet à ventre blanc, de l'Hirondelle de rochers ou encore du Tichodrome échelette. De manière générale, la hauteur des fronts conditionne la présence de ces oiseaux puisque les carrières comptant une hauteur de front cumulée de plus de 30 mètres accueillent deux fois plus d'espèces que les fronts de moins de 30 mètres (ENCEM, 2008). Des études récentes laissent penser que les carrières sont devenues, en Europe de l'Ouest, des zones refuges très importantes pour les populations de certaines espèces rupestres en reconquête de territoire comme le Faucon pèlerin (Moore *et al.*, 1997) et surtout le Grand-Duc d'Europe (ENCEM, 2004). Dans le département de la Loire, 22 % des sites colonisés connus sont des carrières : 15 % de carrières arrêtées et 7 % de carrières en activité (Balluet & Faure, 2004) ;

- les **oiseaux cavernicoles*** qui exploitent les anfractuosités des fronts de taille en période de reproduction mais qui ne sont pas strictement inféodés à des milieux rocheux et sont notamment susceptibles de nicher dans des bâtiments ou des cavités arboricoles. Nous pouvons citer le Faucon crécerelle, présent dans la majorité des carrières de roches massives, le Choucas des tours, le Rougequeue noir, le Pigeon colombin, la Bergeronnette grise, l'Effraie des clochers ou encore la Chevêche d'Athena.

Concernant d'autres groupes faunistiques, les fissures les plus profondes ou les cavités karstiques* en milieu calcaire peuvent devenir des gîtes de reproduction ou plus rarement d'hibernation pour les chiroptères*. Lorsqu'elles sont basses ou accessibles, les fissures peuvent également intéresser les reptiles (lézards, geckos...).

Figure 82 Quelques oiseaux nicheurs remarquables des fronts de taille

Espèces	État des populations	Rôle des carrières
Faucon pèlerin 	Le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) est sans conteste l'un des symboles des actions de préservation de la biodiversité en France. Disparu de nombreuses régions et menacé d'extinction dans les années 70-80 à la suite de destructions et surtout de l'emploi massif de pesticides qui contaminaient ses proies (DDT), il reconquiert aujourd'hui ses anciens bastions.	Les carrières offrent à cette espèce principalement rupestre* de nouveaux habitats de reproduction et dans certaines régions, notamment continentales, l'installation de cette espèce en carrière a permis une reconquête de territoires. En Limousin par exemple, le nombre de couples nicheurs a été multiplié par 5 en 20 ans à la suite des premières nidifications en carrières (SEPOL, com. orale.). La hauteur du front et la tranquillité sont deux facteurs prépondérants à l'installation de l'espèce en carrière (Moore et al., 1997).
Grand-duc d'Europe Jeune hibou d'une carrière calcaire de l'Hérault	Après un fort déclin des effectifs nicheurs en France à la suite du piégeage, des tirs ou des empoisonnements qui dura jusque dans les années 1970, le Grand-duc d'Europe (*Bubo bubo*) paraît aujourd'hui mieux se porter. Son dynamisme en carrière semble suivre son expansion géographique récente, notamment dans l'est du pays (Vosges, Bourgogne, Ardennes, Jura...).	Le Grand-duc d'Europe est un hôte discret mais régulier des carrières de roches massives en activité ou arrêtées (22 % des 78 sites inventoriés en Loire - Balluet & Faure, 2004 ; 76 % des couples connus en Bourgogne - CEOB*- L'Aile Brisée, 2006). Passant souvent inaperçu du fait de ses mœurs nocturnes, il y est pourtant bien implanté comme reproducteur sur son aire de répartition, soit essentiellement dans le quart sud-est de la France. Moins exigeant que le Faucon pèlerin quant aux conditions de reproduction, un front de faible hauteur peut lui convenir, notamment s'il y trouve une cavité suffisamment profonde pour y nicher à l'abri de la lumière. L'orientation joue alors un rôle important pour ce rapace nocturne qui a des préférences nettes : orientation sud en altitude et dans le nord de la France (Richard, 1923 ; Guichard, 1956 ; Balluet & Faure, 2004) et plutôt nord ou indifférente en région méditerranéenne (Blondel & Badan, 1976 ; Defontaines, 2002).
Grand Corbeau Nichée d'une carrière calcaire du Territoire de Belfort	Plus encore que les deux espèces citées précédemment, le Grand Corbeau (*Corvus corax*) jouit d'un statut particulier. Comme les précédents, il a progressivement disparu de nombreuses régions françaises au cours du siècle dernier. S'il est encore bien présent dans nos régions montagneuses, c'est surtout dans le Massif armoricain que les sites rupestres* revêtent un intérêt décisif pour le maintien de cette espèce.	Si sa présence en carrière reste occasionnelle sur une grande partie du territoire, dans l'Ouest en revanche et en particulier en Bretagne, l'espèce y est bien implantée. Ainsi, sur près de 40 couples recensés en 2007 en Bretagne, les deux tiers environ l'ont été en carrière de roches massives (GOB*- UNICEM Bretagne, 2008). À tel point que la survie de cette population passe peut-être par la prise en compte de cet enjeu déterminant. C'est ce qui a amené à un partenariat entre l'Unicem Bretagne et le Groupe ornithologique breton représenté par un spécialiste de l'espèce (Thierry Quélennec).

Figure 83 Quelques oiseaux nicheurs représentatifs et communs des fronts de taille

Espèces	État des populations	Rôle des carrières
Rougequeue noir	L'aire de répartition du Rougequeue noir (*Phoenicurus ochruros*) s'est étendue à de nombreuses régions au cours du siècle dernier, notamment la région méditerranéenne et les péninsules de l'Ouest (Bretagne, Cotentin ; Dubois et al., 2000). Présent partout aujourd'hui, il niche essentiellement dans des bâtiments en plaine et dans les zones d'éboulis et de falaises dans les reliefs.	Espèce rupestre* à l'origine, le Rougequeue noir a logiquement investi les carrières de roches massives en occupant les zones d'éboulis, les cavités des fronts de taille... Dans les secteurs de plaine, les carrières représentent parfois les seuls habitats « naturels » de l'espèce. Leur densité y est souvent importante.
Faucon crécerelle Nichée d'une carrière calcaire des Deux-Sèvres	Largement réparti sur tout le territoire et dans tous types de milieux, le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) est sans nul doute le rapace le plus commun en France. Relativement opportuniste, il est susceptible de nicher aussi bien sur une corniche de falaise que dans un ancien nid de corvidé sur un arbre.	Hôte habituel des carrières de roches massives, il colonise très facilement les fronts de taille non exploités. Sur les grandes carrières, il est même fréquent que plusieurs couples cohabitent.
Pigeon colombin	Espèce peu connue en comparaison du Pigeon ramier, le Pigeon colombin (*Columba oenas*) est un nicheur peu commun sur notre territoire. Il niche dans des cavités d'arbres ou de falaises.	Cette espèce cavernicole* semble moins rare qu'on pourrait le penser en carrière de roche massive (noté nicheur sur 20 % des sites prospectés, ENCEM 2008).

2.4 Facteurs favorables et limitants

Tableau 25 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des fronts de taille

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables*
Hétérogénéité des parois qui permet une colonisation animale et végétale : anfractuosités, surplombs...	**Uniformité du front**, avec absence d'aspérités.
Grande hauteur de paroi subverticale et inaccessibilité aux prédateurs (fourrés denses d'épineux en sommet, plan d'eau au pied...) permettant d'offrir des falaises de substitution à un grand nombre d'espèces rupestres.	**Activité trop proche** (proximité immédiate des fronts exploités) ou dérangement (simple observation pour le Grand Corbeau).
Variabilité d'exposition et d'humidité qui favorise le développement de microclimats permettant une diversification de la végétation.	Aménagements divers (talutage, remblais, filets de protection...).

** Il importe de rappeler que la mise en sécurité des fronts doit respecter les dossiers de prescription du RGIE*.*

Quel est l'intérêt écologique des fronts de taille ?

- Les parois rocheuses sont des habitats naturels rares en plaine, que l'on ne trouve quasiment que dans les carrières de roches massives.
- Elles constituent parfois le seul milieu de reproduction pour les oiseaux strictement liés au falaises.

3 La gestion écologique au quotidien

Les mesures présentées ne concernent quasiment que l'avifaune* rupestre*. Seule la dernière mesure intéresse également la flore rupicole*.

Assurer une veille écologique pour détecter l'installation d'oiseaux nicheurs

La nidification d'oiseaux rupestres* sur les fronts de taille est généralement assez simple à détecter, dès lors que l'on y prête attention. Au printemps (ou dès l'hiver pour certaines espèces), la présence régulière des oiseaux, des va-et-vient répétés, des cris d'alarme et des traces de fientes sur la paroi sont parmi les indices les plus significatifs de l'installation. On pourra, si nécessaire, faire appel à une structure extérieure (bureau d'études, association naturaliste) pour effectuer un ou deux passages de recensement et de surveillance du site ou bien pour confirmer et identifier une nidification présumée sur la carrière. La concertation avec cette structure permettra généralement de définir rapidement des solutions rapides et adaptées de préservation compatibles avec l'activité du site.

⚠ Les cas connus de destruction directe de nid par tirs de mines sont rares. Les oiseaux ne s'installent en effet que rarement sur les fronts exploités. Ils peuvent par contre être perturbés par la réouverture d'anciens fronts. En cas de présence potentielle d'oiseaux rupestres sur des fronts qui seront exploités durant la période de reproduction (janvier à juillet), il est nécessaire tout d'abord d'exercer une surveillance régulière du front, notamment en fin d'hiver et début de printemps, en se faisant éventuellement aider par un naturaliste. Si un couple tente de s'installer sur le front, il faut essayer de le déranger par une présence humaine manifeste et inhabituelle en périphérie de la zone occupée (avertisseurs sonores des engins, bandes de signalisation installées sur le front depuis la banquette supérieure...).

Éviter tout dérangement des fronts colonisés durant la période de reproduction (janvier à juillet selon les espèces)

La nidification d'oiseaux rupestres à forte valeur patrimoniale nécessite de veiller à ne pas perturber directement les abords du nid durant la période de couvaison et d'élevage des jeunes, par une information du personnel et une signalétique simple (panneau d'interdiction de stationnement au pied du front concerné, par exemple). Cette mesure ne doit pas modifier l'activité régulière et habituelle de la carrière (passages d'engins au pied du front, tirs de mines à quelque distance...). Par contre toute action inhabituelle ou occasionnelle est à éviter car elle devient directement perceptible et dérangeante pour les oiseaux reproducteurs (observation rapprochée du nid, activité ponctuelle au pied ou au sommet du front par exemple).

Effaroucher les oiseaux avant un tir de mine

Cette opération n'est recommandée que sur les sites où le Grand-duc d'Europe est présent car les adultes sont susceptibles de se tenir à l'abri dans des anfractuosités sans forcément être visibles ni dérangés par les travaux de minage. La combinaison entre effarouchement visuel (fusée colorée) et sonore (cris d'alarme de l'espèce diffusés sur hauts-parleurs), un quart d'heure environ avant le tir, doit permettre de s'assurer du départ des oiseaux.

Favoriser l'installation des espèces sur les fronts éloignés de l'activité principale

Afin de réduire les contraintes liées à la présence d'oiseaux rupestres sur les fronts en exploitation, on peut essayer de favoriser l'installation des oiseaux sur des secteurs éloignés de la zone qui sera exploitée au printemps (période de reproduction : janvier à août), en y conservant ou créant des milieux favorables (fissures, corniches...). Sur les fronts proches de leur position ultime, certains aménagements nécessitent d'être anticipés (cf. figure 84).

Conserver et entretenir les fronts favorables à la reproduction des oiseaux rupestres* et ceux colonisés par une végétation rupicole*

Sur les portions de fronts favorables aux oiseaux rupestres, il convient de limiter le développement de la végétation arbustive et surtout arborée en pied de front, celle-ci pouvant réduire de façon importante l'intérêt du front (ombre des arbres limitant ou empêchant le développement de la végétation, accès des prédateurs facilité, champs de vision réduit pour les rapaces...). En sommet de front, il est par contre recommandé de favoriser le développement de fourrés* denses qui empêcheront l'accès par les animaux (prédateurs) et le public (sécurité et dérangement).

L'intérêt de la flore rupicole* ne peut être apprécié que par un spécialiste. Cependant, la présence de fougères (plantes faciles à repérer ; cf. figure 80) et d'orpins (plantes « grasses » à feuilles épaisses ; cf. figure 81) doit retenir l'attention, surtout si les peuplements semblent diversifiés, car il s'agit d'indicateurs de groupements rupicoles intéressants.

4 Les aménagements à vocation écologique

Comme pour la gestion au quotidien, les aménagements proposés sont en premier lieu destinés à l'avifaune* rupestre, ce groupe biologique étant de loin le mieux connu. Cependant, la diversification des fronts est également favorable à d'autres groupes comme la flore rupicole* *lato sensu,* les insectes et les chiroptères*. Les techniques de végétalisation spontanée des fronts sont traitées en fin de chapitre

► Conserver un linéaire important de fronts de taille

Le maintien des fronts de taille en l'état lors du réaménagement final est écologiquement intéressant pour deux raisons : un intérêt écologique pour les habitats et biocénoses* des parois rocheuses, et un intérêt environnemental pour l'économie de l'énergie qui serait nécessaire à leur remblaiement. En prenant en compte les contraintes paysagères et de sécurité, on privilégiera de conserver les secteurs présentant **un maximum de cavités et zones de ruptures** (replats, corniches...), notamment ceux déjà occupés par des espèces rupestres*.

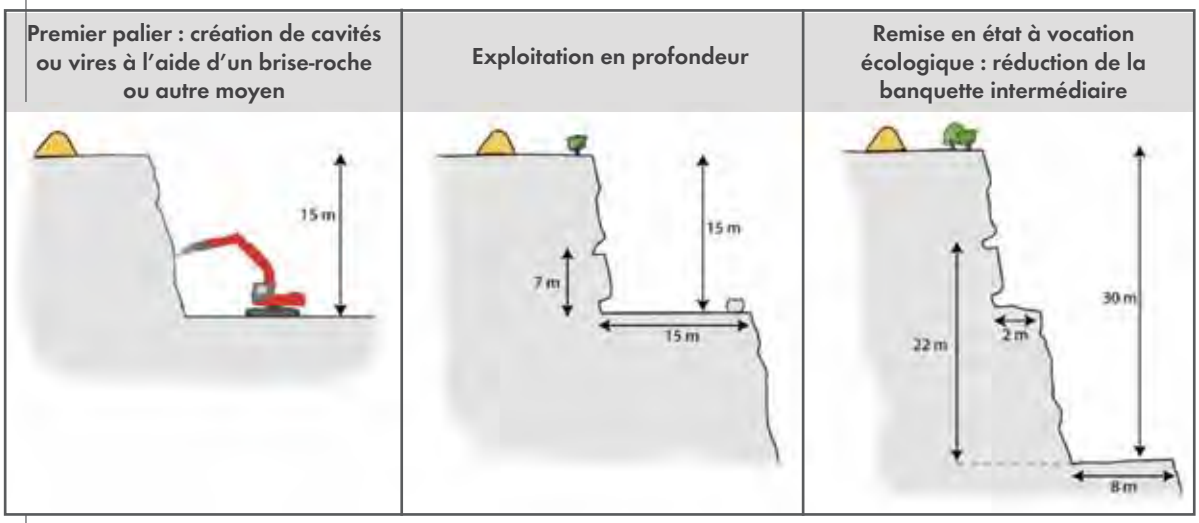
► Aménager des portions de fronts de grande hauteur

Sécurité : cf. réglementation § 2.4.1

Il est reconnu que plus les parois sont hautes, plus les chances d'installation sont grandes pour le Faucon pèlerin qui y voit sans doute une limitation des dérangements et prédations (Cade, 1960 ; White & Cade, 1971, Moore *et al.*, 1997). Dans les cas de paliers superposés avec fronts de 15 mètres, il est donc intéressant de réduire fortement, voire supprimer localement la banquette intermédiaire sur au moins un palier afin d'obtenir une paroi de 30 mètres (cet aménagement nécessite une dérogation).

Si cette mesure s'accompagne d'aménagement de cavités de nidification, il est nécessaire **d'anticiper l'aménagement des fronts arrivés en position ultime** de manière à pouvoir intervenir tant que le front supérieur est accessible par les engins (figure 84).

Figure 84 Création de cavité en anticipation du réaménagement final



► Conserver ou aménager des zones de rupture et de fracturation de la paroi : fissures, cavités, replats, surplombs...

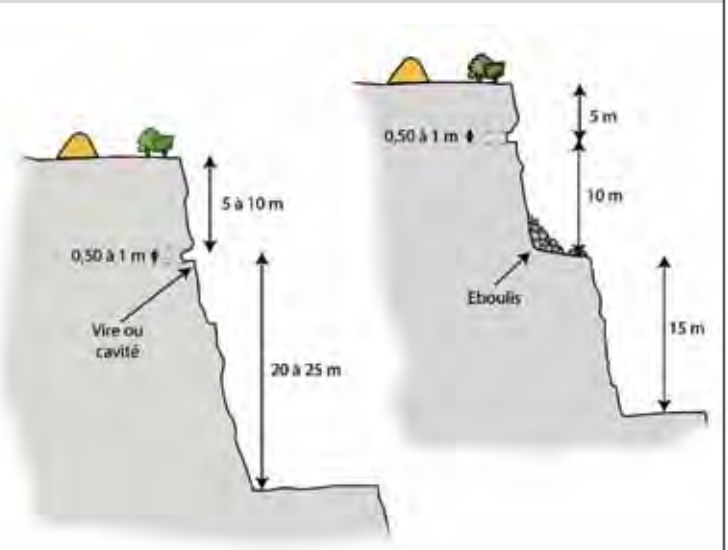
Suivant le site et la nature de la roche, l'aménagement de cavités et de replats s'avère plus ou moins difficile Parfois, un tir de mines permet de créer des conditions d'accueil favorables. Mais plus généralement, l'utilisation de matériels utilisés pour creuser la roche (brise-roche) permet d'obtenir plus aisément le résultat attendu.

Chaque espèce a des préférences particulières en matière de site de reproduction ou de repos. Il est donc nécessaire, soit de cibler une espèce particulière en réalisant un aménagement spécifique, soit de créer une diversité d'habitats susceptible de convenir à une ou plusieurs espèces, en s'aidant des inventaires réalisés sur le site et des données régionales.

Les figures 85 à 88 donnent quelques exemples d'aménagements ou de milieux favorables à des espèces ou groupes d'espèces. Les caractéristiques physiques indiquées résultent de l'observation de sites naturels de reproduction en milieu naturel ou en carrière. Des donnés complémentaires figurent dans le document suivant :

Document de référence : *Une carrière, des hommes, des oiseaux. Des bonnes pratiques pour des cohabitations harmonieuses* (CORA, LPO Loire et Haute-Savoie et UNICEM Rhône-Alpes, 2008)

Figure 85 Fronts colonisés par le Faucon pèlerin

Description de l'aménagement	Schéma
Si possible, conserver une hauteur de front de 30 m minimum et créer une vire ou une cavité 5 à 10 m sous le sommet de la paroi. Une autre façon de « faire disparaître » la banquette est de la recouvrir de blocs rocheux (éboulis) qui créent une continuité dans la paroi. L'accès au nid d'un éventuel prédateur ne doit pas être possible par le sommet et un surplomb protecteur est le bienvenu. La cavité doit faire une profondeur et une hauteur d'au moins 50 cm. Le Faucon pèlerin a besoin de dominer son territoire. Les carrières à flanc de coteau sont donc plus favorables que les excavations. Des perchoirs de guet (rocs, branches mortes) doivent être disponibles sur la paroi à proximité de la cavité pour que le mâle puisse surveiller le nid. Une exposition à l'abri des précipitations, donc au nord ou à l'est, est recommandée.	

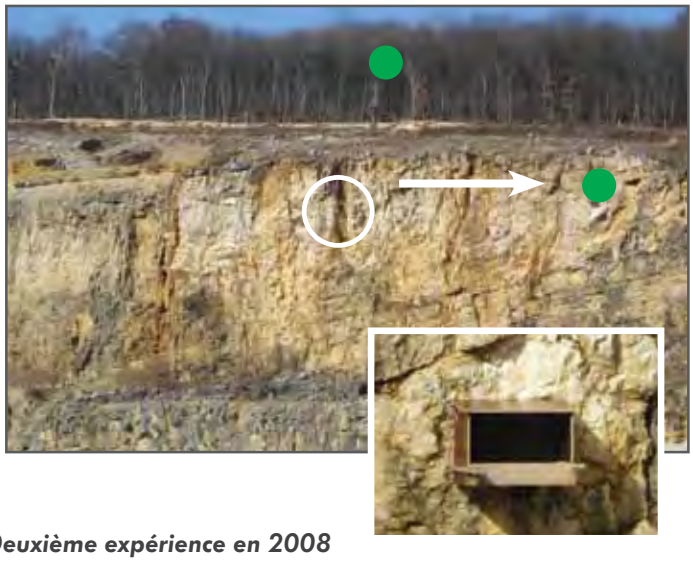
Front d'une quarantaine de mètres de hauteur sur lequel niche le Faucon pèlerin (Haute-Vienne). Le front est inaccessible par le haut (boisement) et par le bas (plan d'eau).

Cavité creusée artificiellement dans une carrière de craie remise en état du département de l'Eure Le Faucon pèlerin s'y est installé avec succès. La aussi, le plan d'eau en pied de front limite l'accès à la cavité.

Une fiche technique sur les aménagements favorables à la reproduction du Faucon pèlerin en carrières est téléchargeable sur le site le la LPO, à l'adresse suivante : http://pelerin.lpo.fr/actualites/actualites.html (documentation. Fiche n° 15)

Figure 86 Le Faucon pèlerin d'une carrière du Doubs

Problématique : déplacer une aire de nidification de Faucon pèlerin dans le cadre d'une reprise d'activité de la carrière, en partenariat avec le Groupe Pèlerin Jura.



Première expérience en 2007

Solution envisagée : *mettre en place 2 nichoirs, l'un à l'est du front de taille, l'autre dans un arbre en lisière de boisement (points verts sur la vue ci-contre).*

Résultat : échec.

Causes présumées de l'échec : *le nichoir est un élément trop artificiel dans un contexte à forte naturalité.*

Deuxième expérience en 2008

Solution envisagée : *créer une cavité artificielle dans le front de taille.*

Critères de choix de l'emplacement :

- *zone en hauteur,*
- *utilisation de la configuration de la roche (fissure),*
- *zone de roche homogène, sans risque d'effritement,*
- *zone à l'abri de l'humidité,*
- *limitation de l'accès aux prédateurs,*
- *aire invisible depuis la route longeant la carrière.*

Les travaux se sont déroulés sur une période de trois semaines. La cavité a été creusée à la main et à l'aide de cordeau détonnant (3 tirs). La base de la cavité s'étant en partie effondrée lors du dernier tir, elle a été reconstituée en utilisant le marchepied en fer mis en place pour réaliser les travaux. Au final, la cavité mesure 1 m de long et 0,60 m de profondeur et de largeur. Le fond est recouvert de gravier et le marchepied de dalles rocheuses.

Suivi du comportement des oiseaux :

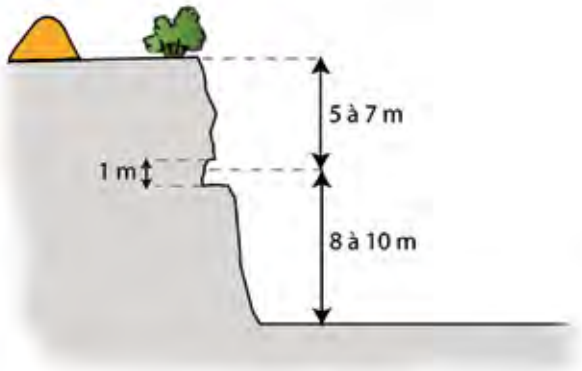
1er juin : deux jeunes se sont envolés

Perspectives :

Étudier le comportement des faucons dès leur retour (fin janvier-début février) afin de mesurer leur capacité de résistance au dérangement et d'en tirer quelques enseignements quant à de futurs aménagements.

Photographies et données naturalistes : Christian BULLE, Groupe Pèlerin Jura.

Figure 87 Fronts colonisés par le Grand-duc d'Europe

Description de l'aménagement	Schéma
Le Grand-duc d'Europe est moins exigeant que le Faucon pèlerin pour nicher et donc nettement plus abondant que ce dernier en carrière. La hauteur de paroi peut être moins importante et il est possible de creuser une cavité à 5 ou 10 mètres de hauteur (certains individus nichent au sol, en pied de front, mais une cavité dans une paroi garantit une meilleure sécurité pour la nichée). Une cavité d'environ 1 m^3 est idéale pour cette espèce nocturne qui aime se dissimuler durant la journée. La présence de végétation (arbustes, arbres morts) devant la cavité est un plus. Cette espèce niche également à découvert, sur des banquettes.	

Cavité occupée par le Grand-duc d'Europe sur une carrière de granite de Côte-d'Or.

Vire sur laquelle niche le Grand-duc d'Europe dans une carrière de calcaire de Côte-d'Or

Figure 88 Fronts colonisés par l'avifaune rupestre

Description des milieux de nidification

Les cavités étroites (< 5 cm) et peu profondes (20-30 cm) attirent des petits passereaux tels que le Rougequeue noir, la Bergeronnette grise, le Troglodyte mignon, la Mésange charbonnière (le Martinet à ventre blanc en région montagneuse).

Des trous plus larges (10-20 cm) et plus profonds (> 50 cm) sont susceptibles d'accueillir des espèces de plus grande taille : Faucon crécerelle, Choucas des tours, Pigeon colombin, Chouette chevêche...

La présence de surplombs est indispensable pour que l'Hirondelle de rochers puisse fixer son nid de boue séchée à la paroi.

Ci-contre : front d'une trentaine de mètres, en position ultime et situé à faible distance de fronts exploités sur le palier inférieur (60 m), sur lequel niche le Faucon crécerelle (Ille-et-Vilaine).
Ci-dessus : vue de détail sur l'aire de nidification, à l'abri d'un surplomb.

Ci-contre : surplomb occupé par le Pigeon biset domestique (Columba livia) sur un front d'une carrière de diorite de Vendée. Cette espèce semi-domestique (vue-ci-dessous) niche régulièrement en carrière de roche massive. Une autre espèce, le Pigeon colombin (Columba oenas), est également observée.

Ci-contre : front d'une vingtaine de mètres de hauteur sur lequel a niché le Faucon pèlerin (Haute-Vienne). La vue de détail ci-dessus montre le nid (flèche) et les postes de guet signalés par les fientes blanches.

Le nid est désormais occupé par le Grand Corbeau.

Figure 89 Fronts colonisés par les invertébrés

Les anfractuosités étroites et peu profondes sont susceptibles d'abriter une microfaune cavernicole* diversifiée (Araignées, cloportes, myriapodes*...). Des nids d'hyménoptères* sont régulièrement observés, notamment à l'abri des surplombs.

Nid de la guêpe maçonne Ancistrocerus oviventris (adulte visible en vol), formé d'un mortier d'argile et renfermant un ensemble de cellules destinées au développement des larves. Plusieurs de ces cellules, une fois l'adulte sorti, ont été réutilisées par une abeille du genre Osmia pour la reproduction (insecte flou sur la photo, également en vol). Carrière de calcaire de l'Ain.

Favoriser les chauves-souris

Les données sur les aménagements propres à favoriser les chauves-souris en carrières sont rares. Selon la nature de la roche et en fonction des moyens techniques disponibles, on peut envisager :

- la création de cavités ou fissures étroites (5-10 cm) verticales et horizontales qui remontent dans la roche pour éviter les écoulements d'eau et atteignent une profondeur d'au moins 1 m, à plusieurs mètres de hauteur ;
- des cavités de grande taille (1 à 2 m de profondeur pour un diamètre < 1m) rebouchées ensuite par des éléments naturels (pierres) ou par un système de grilles, soit en pied de front, soit à mi-hauteur du front.

Favoriser la nidification des oiseaux par la pose de nichoirs

Quelle utilisation des nichoirs en carrière ?

Un moyen simple de favoriser l'installation d'espèces rupestres* ou cavernicoles* sur un site est la mise en place de nichoirs adaptés. De nombreuses espèces sont en effet susceptibles de s'installer dans ces équipements artificiels, dès lors que les conditions d'accueil leur sont favorables, à la fois sur le plan de l'environnement extérieur et des caractéristiques du nichoir (taille, orientation, diamètre d'ouverture...). Il existe ainsi plusieurs exemples d'installations de nichoirs en carrières de roches massives, généralement destinés à de gros oiseaux (faucons, hiboux, Grand Corbeau...) mais aussi parfois aux passereaux (Traquet motteux...).

Cependant, ces aménagements de substitution sont parfois critiqués par les ornithologues pour plusieurs raisons :

- **artificialisation supplémentaire** du milieu,
- **solution de facilité, peu durable** dans le temps,
- **moyen de compensation** pouvant justifier la destruction de zones favorables et/ou parfois déjà colonisées.

Concernant le dernier point, qui est sans doute le plus important dans une optique d'aménagement ou de gestion écologique d'une carrière, il convient que les nichoirs ne se substituent pas complètement à la conservation ou à l'aménagement de zones naturelles favorables (vires, anfractuosités...).

Leur installation doit être appuyée par une volonté de favoriser la reproduction d'espèces potentiellement nicheuses sur un site offrant toutes les garanties de survie et de développement des individus (tranquillité, zones de chasse, disponibilité alimentaire...). Elle doit donc se faire de manière réfléchie et parcimonieuse (inutile de multiplier les nichoirs sur un site).

Figure 90 Mise en place d'un nichoir suspendu sur un front de taille d'une carrière du Finistère

Suite à l'observation régulière du Faucon pèlerin en période hivernale sur cette carrière du Finistère, un nichoir en bois (contreplaqué marine) recouvert d'une substance imperméabilisante a été installé à la fin des années 1990 sur un front arrivé en position ultime mais dépourvu de vires favorables.

En 2004, après exploitation d'un palier supplémentaire, le nichoir se trouve isolé sur une paroi de grande hauteur, ce qui est favorable à cette espèce farouche. Il commence cependant à se dégrader.

Le Faucon pèlerin n'a jamais utilisé ce nichoir, qui a cependant servi à la nidification du Faucon crécerelle.

Xavier Gremillet, naturaliste breton à l'origine de cette expérience, estime que la condition essentielle à l'installation du Faucon pèlerin est l'absence d'humidité : le front doit être sec, exposé au sud ou au sud-est en Bretagne, et le nichoir doit être aussi drainant que possible (fond présentant une pente orientée vers le front, perforé et recouvert de graviers lavés et roulés, avec un rebord). Un matériau totalement imputrescible est recommandé (coffret en béton du type regard de compteur).

Un autre mode d'installation, plus simple que le nichoir suspendu, est préconisé : il suffit d'installer le nichoir en béton sur une banquette résiduelle, en veillant à ce que la portion de banquette soit inaccessible de part et d'autre.

Photographies et données naturalistes : Xavier GREMILLET. Vue 2004 : Philippe FOUILLET.

Favoriser une reprise rapide de la végétation

S'il est nécessaire de procéder à une végétalisation rapide des fronts (pour des raisons paysagères notamment), différentes techniques peuvent être mises en œuvre pour accélérer la colonisation spontanée des fronts par la végétation.

- Une technique fréquemment employée consiste à verser des matériaux stériles sur les banquettes à partir du front supérieur, sur toute la hauteur du front ou une partie seulement. Les remblais sont le plus souvent rapidement colonisés par une végétation de friche herbacée*, puis par des fourrés*, en particulier de Genêt à balais (*Cytisus scoparius*) sur les substrats siliceux. Des arbustes pionniers* (saules sur tous substrats, bouleaux sur substrats* siliceux, trembles...) s'installent ensuite si la végétation n'est pas trop dense. Une pente trop forte (supérieure à 50°) n'est pas favorable l'installation des arbres. Pour ces derniers, il faut conserver une banquette d'une largeur suffisante pour limiter la pente des remblais ou utiliser une autre technique (cf. ci-dessous).

Figure 91 Genêt à balais sur front totalement remblayé

Sur la partie de front non remblayée, les éventuelles zones de rupture retiennent un peu de substrat, ce qui permet une colonisation par la végétation pionnière.

Cette méthode donne des résultats assez intéressants du point de vue écologique lorsqu'il s'agit de matériaux pauvres en éléments nutritifs qui permettent l'installation de formations semi-ouvertes. L'utilisation de terre végétale entraîne à l'inverse l'apparition d'une végétation plus généraliste et opportuniste, notamment des ronciers.

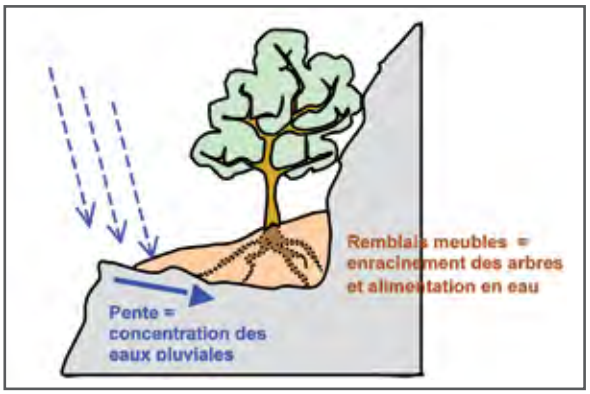
Figure 92 Fronts partiellement remblayés

Lors du réaménagement progressif de ce site méditerranéen (Bouches-du-Rhône), l'apport de matériaux assez pauvres, disposés en pentes orientées au sud, a permis une recolonisation végétale rapide des banquettes. À noter également l'hétérogénéité des dépôts qui diversifie les pentes et limite l'effet d'horizontalité des banquettes.

- Une autre technique consiste à aménager la banquette résiduelle avec une légère pente intérieure (de l'ordre de 5 à 10°, soit 1 pour 12 à 1 pour 6), ce qui permet de collecter les eaux pluviales sur les substrats imperméables (roches éruptives). Un régalage* de matériaux stériles* sur une épaisseur de l'ordre de quelques décimètres à un mètre facilite la colonisation de la banquette par les arbustes et même les arbres (figure 93). Pour recueillir les eaux qui ruissellent sur les remblais, la bordure externe de la banquette ne doit pas être remblayée sur une largeur d'au moins un mètre de manière à constituer l'équivalent d'un fossé collecteur. Cet aménagement nécessite d'être anticipé.

  Pour diversifier la végétation de la banquette, celle-ci peut être aménagée soit avec une pente intérieure, soit avec une pente extérieure.

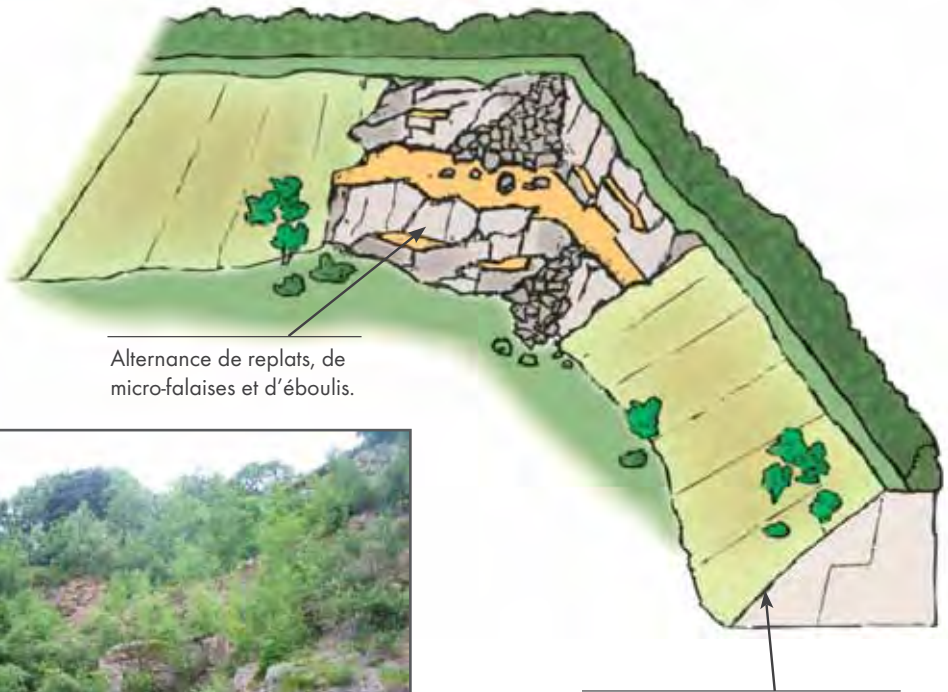
Figure 93 Banquette avec pente intérieure



- S'il est prévu de remblayer les fronts sur toute leur hauteur (cas des carrières peu profondes), il est intéressant de conserver des portions de fronts aménagés avec des replats et banquettes à différentes hauteurs, en alternance avec des éboulis diversement exposés. Cet aménagement doit être anticipé de manière à ne pas exploiter l'ensemble du front jusqu'à sa position ultime.

La fracturation de la roche induite par les travaux et la présence d'éboulis permettent généralement une colonisation partielle de ces fronts par la végétation ligneuse.

Figure 94 Fronts réaménagés de manière hétérogène



Le vieillissement artificiel des fronts

Quelques sociétés ont élaboré des techniques et matériaux permettant de donner un aspect « patiné » à la roche en la recouvrant par projection hydraulique d'un mélange préparé et adapté aux caractéristiques de la roche. Ces procédés apparaissent relativement coûteux au vu des surfaces à traiter et ne sont pas toujours efficaces sur le terrain. De plus, si les techniques ont évolué depuis les premiers matériaux à base de goudron et diverses substances très polluantes, le mélange d'oxydes utilisés aujourd'hui peut s'avérer dommageable pour l'environnement, surtout après des précipitations importantes. Le vieillissement naturel des roches calcaires très blanches peut finalement s'avérer assez rapide à l'échelle d'une exploitation.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 26 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des fronts de taille

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Entretenir les fronts de taille		x	
Aménagements	Conserver un linéaire important de fronts de taille			x Si linéaire important à sécuriser
	Aménager des portions de fronts de grande hauteur		x	
	Aménager des fissures, cavités, surplombs, etc.	x	x	
	Favoriser une reprise rapide de la végétation	x Si intégré à la gestion des stériles		x Si opération spécifique

Figure 95 Fougères et orpins sur front de taille

5 - Les éboulis et dépôts de blocs rocheux

1 Description

Les éboulis correspondent à des zones d'accumulation, en pied de front de taille, de matériaux minéraux de granulométrie* variable. Ils peuvent être d'origine artificielle lorsqu'ils résultent de tirs de mines ou peuvent se former naturellement sur des zones où la roche friable s'érode (fronts, glacis...).

On distingue deux grands types d'éboulis en carrières de roches massives :

- des **éboulis stables et inactifs** auxquels on peut associer les divers dépôts de blocs rocheux (granulométrie supérieure à 10 cm) que l'on rencontre en différents endroits de la carrière (remblais, merlon de protection, stocks...) ainsi que les talus rocailleux aménagés dans la masse du gisement (bordure de piste par exemple),
- des **éboulis actifs** qui évoluent dans le temps par **accumulation plus ou moins régulière de matériaux,** et qui s'apparentent alors à des éboulis naturels à caractère instable.

Figure 96 Les deux grands types d'éboulis rencontrés en carrières

Des tirs de mines opérés pour sécuriser les fronts lors de la remise en état ont entraîné la création d'éboulis stables.

Éboulis actif et instable résultant de l'érosion de la partie supérieure du front de taille.

Ci-dessus : ce dépôt de blocs calcaires formant un merlon sur une carrière de calcaire des Deux-Sèvres est assimilable à un éboulis stable.

Ci-contre : les pentes talutées dans la craie de cette carrière du Nord forme un éboulis semi-mobile colonisé par une plante caractéristique de ce milieu : l'Oseille à feuilles rondes.

Tableau 27 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux éboulis et dépôts de blocs

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen				
Enjeu fort				

Les éboulis peuvent constituer un danger pour le personnel ou le public en cas d'instabilité pouvant provoquer la chute de blocs. Il s'agit cependant d'une situation rare liée à des éboulis à forte pente. Les éboulis, même actifs, permettent le plus souvent de sécuriser les fronts en créant en pied de front une zone de réception et d'amortissement des blocs issus de la partie supérieure.

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

Les éboulis sont des milieux assez mal connus en carrière, principalement du fait de leur accessibilité réduite. Un ensemble de neuf habitats y ont cependant été recensés sur les 35 sites étudiés (ENCEM, 2008). On peut les regrouper en six catégories :

- les parois rocheuses des éboulis stables, colonisées notamment par des peuplements de fougères (formations de la classe des *Asplenietea trichomanis*. C9),
- les dalles rocheuses, toujours sur les éboulis stables, sur lesquelles se développent des pelouses* à orpins de la classe des *Sedo-Scleranthetea*. D3,
- les éboulis plus ou moins mobiles, à répartitions surtout montagnarde et méditerranéenne (formations de la classe des *Thlaspietea rotundifolii*. D7),
- les friches herbacées*, mésophiles* à xérophiles*, surtout liées aux éboulis enrichis en particules fines,
- les fourrés* acidiphiles* et basiphiles* (formations de la classe des *Crataego-Prunetea*. E3, E4),
- les peuplements arbustifs et arborés. Sur les éboulis siliceux, il s'agit surtout de peuplements lâches de bouleaux qui représentent un stade pionnier* des chênaies acidiphiles* de l'alliance du *Quercion roboris* (F2). Sur les éboulis calcaires anciens s'installent des peuplements plus diversifiés, riches en espèces nomades des forêts basiphiles de l'ordre des *Fagetalia sylvaticae* (F3).

Quatre de ces habitats s'apparentent à des habitats d'intérêt communautaire, de façon partielle dans la mesure où les cortèges floristiques sont généralement fragmentaires (tableau 28).

Tableau 28 Les formations végétales d'éboulis partiellement d'intérêt communautaire

Code et intitulé de la directive Habitats		Intitulé de l'étude (Référence de la formation dans ENCEM, 2008)
6110* pp	Pelouses* rupicoles* calcaires ou basiphiles* de l'*Alysso-Sedion albi*	> Pelouse* calcicole* xérophile* à Orpins (D.3)
8130 pp	Éboulis ouest-méditerranéens thermophiles*	> Éboulis calcaires (D.7)
8220 pp	Pentes rocheuses siliceuses avec végétations chasmophytiques*	> Végétation rupicole* (C.9)
9180* pp	Forêts de pentes, éboulis ou ravins du *Tilio-Acerion*	> Boisements pionniers* mésophiles* acidiphiles* à neutrophiles* (F.2)

2.2 Flore

Les éboulis abritent 32 % de la flore observée sur les carrières, dont 11% (11 espèces) de la flore déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008). Par station inventoriée, on observe en moyenne 19 espèces, dont 0,3 espèce déterminante ZNIEFF.

La flore déterminante ZNIEFF des éboulis inventoriés dans l'échantillon de 35 sites est rarement caractéristique des éboulis. Il s'agit le plus souvent de plantes à caractère xérophile*, parfois thermophile*.

Un des exemples les plus connus de flore remarquable d'éboulis « artificiels » est celui des terrils miniers de la région Nord-Pas-de-Calais. On retrouve une partie de cette flore sur les carrières de craie de cette région, et notamment une espèce caractéristique des éboulis mobiles : l'Oseille à feuilles rondes.

Figure 97 Deux espèces végétales des éboulis

À gauche : la Capillaire (Asplenium trichomanes), petite fougère caractéristique des groupements de rochers stables. À droite : l'Oseille à feuilles rondes (Rumex scutatus), espèce caractéristique des éboulis mobiles, donc à répartition surtout montagnarde.

2.3 Faune

2.3.1 Invertébrés

Une multitude d'invertébrés cavernicoles* et fouisseurs (gastéropodes, araignées, insectes...) sont susceptibles de coloniser les éboulis. Lors des études de terrain, un seul groupe a été partiellement étudié sur ce milieu : les **orthoptères***. Dans les Alpes et la région méditerranéenne, les éboulis accueillent en moyenne 12,8 espèces par station (ENCEM, 2008).

Plus encore que pour les vertébrés, les éboulis représentent des corridors écologiques déterminants pour les invertébrés, aux capacités de colonisation plus réduites.

2.3.2 Vertébrés

Les zones d'éboulis sont utilisées par un grand nombre de vertébrés cavernicoles*. Toute l'année, les amphibiens et reptiles affectionnent ces milieux qui, d'une part, constituent des zones d'abris intéressantes par la multitude des cavités qui s'y forment et, d'autre part, offrent des conditions de température et d'hygrométrie* variables et donc recherchées par ces animaux à « sang froid ». Ainsi, en fonction de la température extérieure, les espèces s'enfonceront plus ou moins profondément au sein de l'éboulis.

Parmi les espèces observées dans les éboulis, l'Alyte accoucheur est probablement le plus fréquent. Citons également le Pélodyte ponctué pour les amphibiens, ainsi qu'une grande diversité de serpents et lézards parmi lesquels le rare Lézard ocellé dans les secteurs méditerranéens où l'espèce est présente.

Les éboulis sont également des zones de reproduction fréquentes pour certains oiseaux comme la Bergeronnette grise ou le Rougequeue noir (qui préfère néanmoins les failles des fronts de taille) et parfois pour des espèces cavernicoles* plus localisées (Traquet motteux, Huppe fasciée, Chevêche d'Athéna, Merle bleu, Merle de roche... ; ENCEM, 2008).

Enfin, ce sont des zones de refuge pour les petits **mammifères** : rongeurs, mustélidés*, Hérisson...

Figure 98 Deux espèces animales des éboulis

L'Alyte accoucheur (Alytes obstetricans) affectionne particulièrement les éboulis pour s'abriter.

Le Lézard des murailles (Podarcis muralis) est un hôte fréquent des carrières et notamment des dépôts de blocs rocheux.

2.4 Facteurs favorables et limitants

Tableau 29 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des éboulis

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables*
Variabilité des expositions autorisant une diversité des conditions de chaleur et d'humidité, à la surface et au sein de l'éboulis.	
Hauteurs et superficies importantes, associées à des pentes variables, localement assez fortes pour favoriser la mobilité de l'éboulis.	**Faibles surfaces** d'éboulis ne permettant pas l'expression d'une flore caractéristique.
Diversité de la granulométrie des matériaux qui conditionne une diversité d'anfractuosités favorable à de nombreuses espèces animales qui y trouvent refuge (mammifères, quelques oiseaux, reptiles, amphibiens, invertébrés, mollusques, arachnides...).	**Apport de substrat organique ou de matériaux fins** qui participent au colmatage des cavités et au développement d'une végétation dense.
Présence de zones humides (temporaires ou permanentes) à proximité favorisant la colonisation par les amphibiens.	

** Il importe de rappeler que la mise en sécurité des éboulis doit respecter les dossiers de prescription du RGIE*.*

Quel est l'intérêt écologique des éboulis ?

- Milieu rare en plaine, que l'on ne trouve quasiment que dans les carrières de roches massives.
- Zone de reproduction et de refuge pour de nombreuses espèces liées aux milieux rocheux et aux micro-cavités souterraines (conditions d'humidité et de température stables en profondeur).
- Corridor écologique entre deux paliers ou entre un plan d'eau et une banquette...

3 La gestion écologique au quotidien

- **Conserver les éboulis anciens de la carrière**, qui sont déjà colonisés par des espèces spécialisées. Étant donné la lenteur de la colonisation spontanée sur ce type de milieu, il est préférable de conserver au sein de la carrière quelques zones sources qui pourront permettre une recolonisation plus rapide lors de la remise en état finale. Les éboulis fonctionnels doivent être favorisés (cf. *infra*).

- **Exclure ou limiter les apports extérieurs (terre végétale, stériles*...)** qui accélèrent la colonisation végétale par des espèces banales, notamment des fourrés*, et réduisent l'intérêt écologique de l'éboulis.

Figure 99 Éboulis sur glacis* en sommet de front d'une carrière de schiste du Morbihan

Ce glacis situé en sommet de front forme un éboulis régulièrement alimenté par des matériaux issus de la partie supérieure.

Outre l'intérêt écologique lié à la pente et à l'exposition (son orientation sud favorise la colonisation par des insectes et des plantes xéro-thermophiles, notamment l'Orpin blanc), le caractère plus ou moins mobile des matériaux de surface lui confère un attrait supplémentaire pour l'accueil d'espèces spécialisées.*

Il s'agit donc d'un secteur à conserver en l'état.

4 Les aménagements à vocation écologique

Des éboulis peuvent être aménagés soit par apport de matériaux minéraux en pied de front, soit par abattage à l'explosif de la partie supérieure du front. Il faut alors disposer d'un espace suffisant en tête de front pour procéder au tir de mines.

Créer un réseau d'éboulis diversifiés sur les fronts arrivés en position ultime

Il importe surtout de varier l'exposition, non seulement d'un éboulis à l'autre mais également au niveau d'un même éboulis, en lui donnant par exemple une forme conique, de manière à obtenir une variation très progressive du gradient thermique*.

Les autres paramètres physiques à moduler sont :

- **la surface et la hauteur** (suivant la conformation des fronts),
- **la granulométrie*,**
- **la pente.**

Cet aménagement nécessite de prévoir, en périphérie du front supérieur (ou des banquettes intermédiaires), une largeur de terrain proportionnée au volume de l'éboulis à créer.

- **Favoriser la création d'éboulis fonctionnels**, c'est-à-dire susceptibles d'être régulièrement enrichis en matériaux par l'érosion naturelle des fronts ou des pentes qui les surplombent.

  Ce type d'éboulis est réalisable dans deux situations :

  1. si l'on dispose d'horizons s'érodant facilement et sur une hauteur assez importante, comme par exemple la partie supérieure fortement fracturée d'un gisement de roche dure ;
  2. avec des matériaux tendres comme les craies. Les blocs rocheux se scindent progressivement sous l'action du gel (sous climat continental) et forment un éboulis semi-mobile sur les pentes fortes.

- **Créer des corridors écologiques**

Des éboulis répartis en différents points « stratégiques » de la carrière favorisent le déplacement, notamment vertical, d'animaux entre les différents secteurs et donc la colonisation de ces derniers. Ces zones privilégiées de passage intéressent autant les invertébrés (gastéropodes, insectes, araignées...) que les animaux de plus grande taille (amphibiens, reptiles, mammifères). Elles constituent parfois les seules zones d'échanges entre certains secteurs de la carrière, notamment :

- **entre banquettes résiduelles ;**
- **entre plan d'eau de fosse et paliers supérieurs**. En cas d'inondation du fond de fosse, la présence d'éboulis sur la zone de marnage permettra de conserver des zones de pente plus douce, favorables à la **survie de la faune** (évitant une mortalité par noyade, fréquente dans les plans d'eau de fosse aux parois trop abruptes) et à la **colonisation du plan d'eau** par la faune et la flore (zone de frai, d'abris, de développement végétal...).

Figure 100 L'utilisation des éboulis comme corridors écologiques

Les grands éboulis représentent des corridors importants entre les paliers des différents niveaux. En facilitant les échanges et les flux d'individus, ils participent activement à la colonisation végétale et animale de la carrière.

► S'il est **nécessaire de favoriser une végétalisation rapide de l'éboulis**, un apport de matériaux minéraux fins (stériles de découverte) permettra le développement de peuplements herbacés* (friches) puis arbustifs. L'apport de terre végétale est par contre déconseillé si l'on veut éviter un développement trop important des ronciers et/ou d'espèces arborées inadaptées aux fortes pentes.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 30 Évaluation du coût des opérations d'aménagement des éboulis

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Aménagements	Créer un réseau d'éboulis			X Explosifs
	Créer des corridors écologiques		X	X
	Végétaliser les éboulis		X	

Figure 101 Traquet motteux sur merlon de blocs rocheux

Couple de Traquet motteux (Oenanthe oenanthe) sur un ancien dépôt de blocs rocheux proche d'une carrière de basalte de Haute-Loire. Cet oiseau des milieux ouverts à végétation rase est assez souvent observé dans les milieux rocheux. Il fréquente régulièrement les carrières en période de migration mais s'y reproduit assez peu (6 % des sites étudiés - ENCEM, 2008).

6 - Les dépôts et zones de matériaux fins

1 Description

Les dépôts dont il est question ici présentent une double particularité : leur granulométrie* fine, généralement égale ou inférieure à celle des sables (moins de 2 mm), et leur utilisation « extensive » sur la carrière, ce qui les distingue des stocks de granulats destinés à la commercialisation et régulièrement remaniés.

Il s'agit souvent de sables correspondant à des résidus de traitement (produits fatals), plus ou moins riches en argile. Ils sont stockés en vue de leur commercialisation et/ou souvent mis en remblais comme des matériaux stériles.

On associe à ces dépôts les zones de substrats* minéraux fins et meubles, plutôt verticales, qui se rencontrent en divers endroits des carrières : terres de découvertes, passées sableuses des fronts, matériaux stériles argilo-sableux, merlons...

Figure 102 Quelques exemples de dépôts de matériaux fins en carrières de roches massives

Sables (produits fatals) stockés sur une carrière de granite du Finistère (vue ci-dessus) et mis en remblais sur des fronts d'une carrière de granite de Côte-d'Or (vue ci-contre).

Horizon de découverte sablo-argileux d'une carrière de gneiss de Loire-Atlantique, riche en cavités d'hyménoptères.*

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

Les habitats liés aux dépôts et zones de matériaux fins sont mal connus. Il s'agit essentiellement d'habitats minéraux nus ou à faible recouvrement végétal, caractérisé par une pente forte (40 à 50°) et, localement, par des surfaces subverticales (microfalaises). Le substrat* peut être assez mobile en superficie. Les conditions hydriques* sont contraignantes (drainage important) mais varient cependant en fonction de l'exposition du dépôt, de la nature du matériau et la localisation régionale.

Sur les dépôts, du fait du remaniement plus ou moins régulier du substrat* et des contraintes hydriques*, les habitats semblent s'apparenter assez souvent à des formations de friches sableuses à flore annuelle et bisannuelle de l'alliance du *Dauco-Melilotion*. Les formations pionnières* sur sables secs mal stabilisés, du type formation dunaire (classe des *Koelerio-Corynephoretea*), et sur sables acides, du type pelouse* silicicole* (classe des *Helianthemetea guttati*), peuvent être partiellement représentées. La couverture végétale est généralement faible, de l'ordre de 10 %.

2.2 *Flore*

Comme les habitats, la composition floristique de ces milieux est mal connue. Une espèce est régulièrement notée sur les dépôts un peu anciens, le Tussilage pas-d'âne (*Tussilago farfara*), et peut former des peuplements monospécifiques* assez denses. Diverses prêles (*Equisetum sp.*) y sont souvent observées.

2.3 *Faune*

2.3.1 *Invertébrés*

Les dépôts et zones de matériaux fins sont recherchés par des espèces creusant des galeries dans les substrats* meubles pour s'y reproduire ou s'y abriter (espèces dites sabulicoles*) : araignées, insectes fouisseurs* (guêpes fouisseuses...) ou autres invertébrés.

Au Luxembourg, sur 105 espèces de vespiformes (guêpes au sens large) recensées dans les carrières de grès, 25 sont des espèces à forte valeur patrimoniale et plus de la moitié de ces espèces menacées ne sont connues que dans les carrières étudiées (Schneider N. et Wahis R., 1998).

Les insectes observés sont parfois transportés avec les matériaux, ce qui participe activement à leur dispersion. Le Grillon bordelais (*Tartarogryllus bordigalensis*), hôte habituel des dépôts de matériaux ou de stériles*, se retrouve ainsi sur les remblais de routes ou les chantiers approvisionnés en matériaux de carrières, y compris dans des zones où il n'est pas présent en milieu naturel.

Figure 102 Grillon bordelais

Figure 103 Front de découverte colonisé par des insectes fouisseurs

Orifices de terriers d'halictes, abeilles solitaires mais semi-grégaires, sur un front de découverte.

Figure 104 **Hyménoptères* et carrières. Témoignage d'un entomologiste***

Plusieurs milieux de carrières s'illustrent par le très fort potentiel qu'ils offrent à de nombreux insectes fouisseurs, au premier plan desquels se placent les hyménoptères (guêpes, abeilles et fourmis) : fronts de taille meubles ou crevassés, vires et banquettes, découvertes et zones remblayées plus ou moins compactées, dépôts de stériles*, stocks de sables, merlons, anciens bassins de décantation...*

Ces zones pour la plupart peu ou pas végétalisées, et souvent bien exposées, sont très recherchées par plusieurs familles d'hyménoptères, chaque espèce montrant des préférences ou de strictes exigences en termes de nature du substrat*, déclivité, compaction, hygrotrophie*...*

En dehors des zones littorales où des milieux analogues peuvent être naturellement abondants (massifs dunaires, côtes rocheuses et landes rases littorales...), de tels habitats sont peu fréquents et même se raréfient, du fait de l'uniformisation des campagnes induite par l'intensification de l'agriculture, la simplification des assolements, la disparition des talus et chemins creux, murets, etc.*

Certaines anciennes carrières ou parties inexploitées de carrières en activité deviennent ainsi de très importants réservoirs de diversité pour ces insectes, notamment dans le Massif armoricain qui ne bénéficie pas de coteaux calcaires, lesquels comprennent d'autres milieux ouverts favorables. Par ailleurs, les densités observées dans les carrières sont souvent sans commune mesure avec celles qui persistent dans la campagne avoisinante, principalement du fait de l'étendue des habitats de nidification favorables. Un facteur limitant peut cependant s'exercer sur certains sites : la rareté de la ressource alimentaire disponible (plantes à fleurs, ronciers, etc.). C'est évidemment le cas pour les abeilles (qui ont besoin de pollen, parfois du seul pollen d'une plante particulière, pour élever leur progéniture) mais aussi pour l'ensemble des guêpes qui elles aussi se nourrissent de nectar à l'état adulte.*

Rappelons que les abeilles sauvages et que les guêpes au sens large (qui représentent près de 2000 espèces en France, dont la très grande majorité totalement inoffensives pour l'homme) sont des agents essentiels pour la pollinisation. Rappelons aussi que la plupart de ces guêpes sont parasites d'autres insectes et qu'elles œuvrent ainsi à maintenir les populations de certains déprédateurs (espèces estimées nuisibles : chenilles, charançons, mouches, tenthrèdes, pucerons..) à des niveaux acceptables. Ainsi, face aux intérêts que présentent ces insectes, les spécificités de l'activité d'extraction à leur égard mériteraient d'être mieux étudiées : la connaissance fait actuellement beaucoup défaut, la communauté des hyménoptéristes ne disposant que de données faunistiques éparses, strictement qualitatives, non comparables entre elles dans la plupart des cas.

Le Bembix à rostre (Bembix rostrata) est une grosse guêpe solitaire, chasseuse de mouches.

Pompile cendré (Pompilus cinereus) à l'entrée de son terrier. C'est un chasseur d'araignées.

Cheminée à l'entrée d'un nid d'Odynère (Odynerus sp), guêpe maçonne chasseuse de charançons.

Texte et photographies de Franck HERBRECHT, membre du GRETIA (Groupe d'étude des invertébrés armoricains).

2.3.2 *Vertébrés*

Figure 105 Colonie d'Hirondelles de rivage sur stock de sable

L'Hirondelle de rivage et, dans une moindre mesure, le Guêpier d'Europe sont des hôtes fréquents des gravières où ils colonisent les fronts sableux régulièrement rafraîchis par les travaux d'extraction. Leur présence dans les carrières de roches massives est nettement plus rare, sans être exceptionnelle. Deux secteurs sont potentiellement attractifs pour ces espèces, surtout s'ils se situent à proximité d'un plan d'eau :

- le plus souvent, les dépôts de sable ou de matériaux compactés à granulométrie* fine,
- plus rarement, certaines parties du gisement présentant des horizons sableux (passées sableuses dans certains calcaires, arène dans la partie supérieure altérée des granites...).

Le Martin-pêcheur d'Europe, qui se reproduit en couple isolé, peut aussi s'installer dans la paroi d'un dépôt de matériaux fins ou dans la passée sableuse d'un front de taille, pourvu qu'elles soient situées à proximité d'une pièce d'eau poissonneuse ou d'une rivière.

Figure 106 Terrier de Renard dans un dépôt de sable

Certains **amphibiens** exploitent les dépôts comme zone d'abris. Des espèces comme le Crapaud calamite ou, plus occasionnellement, l'Alyte accoucheur s'enfouissent dans des substrats* sableux en journée ou durant les périodes sèches. Souvent présentes en carrière, ces espèces vont donc rechercher ce type d'habitat, surtout s'il se trouve à proximité de mares ou de zones humides.

Des terriers de Lapin de garenne sont couramment observés dans les remblais et merlons lorsque le substrat reste meuble. Le Renard roux y creuse parfois son terrier.

2.4 *Facteurs favorables et limitants pour la faune*

Tableau 31 Facteurs favorisant et limitant la diversité faunistique des dépôts et zones de matériaux fins

Facteurs favorables pour la faune	Facteurs défavorables
Faible couverture végétale.	Faible hauteur des dépôts.
Expositions et pentes variées, certaines espèces présentant des exigences strictes vis-à-vis de ces paramètres.	Remaniement très régulier des dépôts.
Absence de remaniement au printemps.	Aménagements divers (bâchage...).

Quel est l'intérêt écologique des dépôts de matériaux fins ?

- Seul milieu de la carrière (et parfois de la région naturelle) qui puisse être colonisé par des espèces animales vivant et/ou se reproduisant dans des galeries (insectes fouisseurs, hirondelles de rivage...).

3 La gestion écologique au quotidien

Veille écologique continue, surtout au printemps

La première phase de suivi, consistant à la mise en place d'une veille écologique, peut être effectuée par le personnel de la carrière.

Pour les oiseaux, une simple surveillance des stocks au début du printemps doit permettre le repérage rapide des premières galeries d'**Hirondelle de rivage** ou de **Guêpier d'Europe**. Elle doit être prolongée jusqu'à la période estivale car des individus sont susceptibles de s'installer tard en saison, à la suite d'un échec sur un autre site par exemple.

- La **présence d'oiseaux** ou l'apparition de **galeries** dans des dépôts de matériaux fins peut nécessiter la mise en place d'un périmètre de protection (bandes chantier) si le secteur est susceptible d'être perturbé.

- Il peut être utile de prendre contact avec une association naturaliste locale qui pourra **guider l'exploitant** dans la gestion ultérieure de la colonie, surtout si elle gêne l'exploitation : choix d'aménagements susceptibles de favoriser ou déplacer les colonies. Un partenariat peut être établi avec l'association pour lui permettre d'effectuer un suivi annuel des populations et proposer des interventions légères sur le site.

⚠ Pour ne pas être gêné par l'installation d'Hirondelles de rivage dans des stocks qui seront commercialisés durant la période de reproduction, il faut essayer de limiter au maximum la présence de parois verticales dans la partie supérieure du dépôt en l'écrêtant à la pelle mécanique, notamment la veille des week-ends. Si une colonie essaie de s'installer, on peut également l'orienter vers un stock mis en place de manière spécifique dans un secteur peu fréquenté du site (cf. § 4).

La présence d'**amphibiens** (Alyte accoucheur, Crapaud calamite…) au pied des dépôts peut également être détectée par la présence de trous et galeries et **surtout par des écoutes en début de nuit** (crépuscule) pour l'Alyte accoucheur, du mois de mai au mois de juillet. Les notes flûtées et facilement audibles émises par les mâles du fond de leur trou sont très faciles à identifier (l'aide ponctuelle d'un naturaliste peut faciliter le repérage).

Le repérage des **insectes fouisseurs** demande une attention un peu plus poussée mais reste relativement aisée (présence des insectes et des ouvertures de galeries).

Favoriser la colonisation animale

L'installation des espèces colonisant les dépôts de matériaux fins peut être favorisée par des mesures simples. Pour les oiseaux, on favorisera le **stockage en hauteur et la création de microfalaises verticales**, par exemple en effectuant en fin d'hiver un prélèvement à la base d'un ou plusieurs dépôts qui ne seront plus remaniés durant le printemps et l'été suivants (dépôts légèrement à l'écart de la zone d'activité principale, signalés par un périmètre de chantier).

Cette mesure peut s'avérer utile également pour tenter de **déplacer** une colonie d'hirondelles de rivage ayant pris l'habitude de nicher dans des dépôts où elle est gênante. Pour empêcher l'installation des oiseaux, il importe alors de veiller à ce que les dépôts concernés ne présentent aucune surface verticale (cf. *infra*).

Si de vieux dépôts ou d'anciennes parois de matériaux fins sont envahis par la végétation, il peut être utile de les rafraîchir à la pelle mécanique sur une épaisseur correspondant à la profondeur des racines.

4 Les aménagements à vocation écologique

Les dépôts de matériaux fins sont surtout des milieux liés à des sites en activité dans la mesure où ils demandent un remaniement périodique. Ils peuvent néanmoins être aménagés sur des sites inexploités si ceux-ci font l'objet d'un suivi et d'une gestion écologique, même temporaire.

Les aménagements connus ne concernent que les oiseaux cavernicoles*. Pour les insectes, en l'absence de données précises, le principe de diversification des conditions physiques s'applique : granulométrie* du substrat (fin à très fin), pente et hauteur du dépôt, surface des microfalaises, exposition, proximité de milieux aquatiques.

Les dépôts de matériaux fins peuvent être mis en place sous forme de stocks isolés au niveau des carreaux ou de remblais déversés sur des fronts par exemple (cf. figure 102).

Aménager des falaises pour les oiseaux nicheurs cavernicoles*

L'intérêt de prévoir des aménagements écologiques en faveur des oiseaux cavernicoles est double :

- d'une part, l'accueil de ces espèces est important dans un contexte de **réduction de leurs habitats naturels**. Les sites d'extraction peuvent permettre à ces espèces souvent rares à l'échelon régional de maintenir des effectifs reproducteurs importants (espèces nichant en colonie) ;

- d'autre part, il permet de **canaliser les éventuelles colonisations spontanées sur la carrière** en proposant des conditions d'accueil optimales sur une zone préservée et évite ainsi que les oiseaux s'installent sur des stocks ou des secteurs actifs de la carrière.

Une étude menée essentiellement sur des carrières de roches meubles en Wallonie a permis de définir les grandes caractéristiques de l'habitat des **Hirondelles de rivage** et de proposer des mesures concrètes de protection et de gestion de ses habitats, qui passent notamment par des aménagements écologiques (Noiret & Coppée, 2004).

Les caractéristiques importantes à prendre en compte pour la conservation ou l'aménagement de zones de reproduction sont les suivantes :

1. **Granulométrie*** : c'est vraisemblablement l'élément majeur qui conditionne l'installation d'une colonie. Le substrat* doit être homogène et constitué de matériaux fins à très fins (diamètre inférieur à 2 mm et plus généralement inférieur à 0,2 mm). Si les matériaux sableux et argileux sont préférentiellement colonisés, il arrive que des stocks de graviers fins soient utilisés.
2. **Hauteur de la paroi** : les nids se situent toujours le plus haut possible sur la paroi, et ce quelle que soit la hauteur de cette paroi. Une surface verticale d'environ 2 mètres représente un bon compromis. La largeur doit également atteindre plusieurs mètres linéaires.
3. **Âge des parois** : les parois doivent être récentes (par érosion naturelle ou rafraîchissement artificiel) et suffisamment lisses, le plus souvent verticales.
4. **Orientation des parois de reproduction** : a priori toutes les orientations sont possibles mais on privilégiera plutôt des parois orientées à l'est.
5. **Proximité de l'eau** : la proximité d'une pièce d'eau semble un élément supplémentaire d'attractivité intéressant même s'il n'est pas indispensable.
6. **Végétation** : les parois de reproduction sont généralement nues, parfois ponctuées de quelques végétaux.
7. **Quiétude** : le dépôt doit être situé à l'écart de l'activité de la carrière afin de garantir une tranquillité suffisante aux oiseaux lors de la reproduction et notamment du nourrissage des jeunes.

Figure 107 Aménagement d'une paroi pour Hirondelles de rivage dans une carrière de Belgique

Problématique : *la découverte en 1989 d'une colonie de reproduction d'Hirondelles de rivage dans un stock de calcaire broyé a nécessité de rechercher une solution d'aménagements durables pour favoriser la reproduction de l'espèce sur un autre secteur de la carrière.*

Solution : *la réflexion menée par une association locale et le carrier a conduit à la mise en place d'une falaise artificielle par déversement de calcaire broyé sur un coffrage adapté, permettant la création d'une paroi de substitution. Avant la période de reproduction, des ébauches de nid furent creusées manuellement pour attirer les oiseaux tandis que sur les stocks de granulats, les anciens nids étaient détruits et que certains moyens de dissuasion étaient testés (bandelettes sonores, émissions de cris de prédateurs...).*

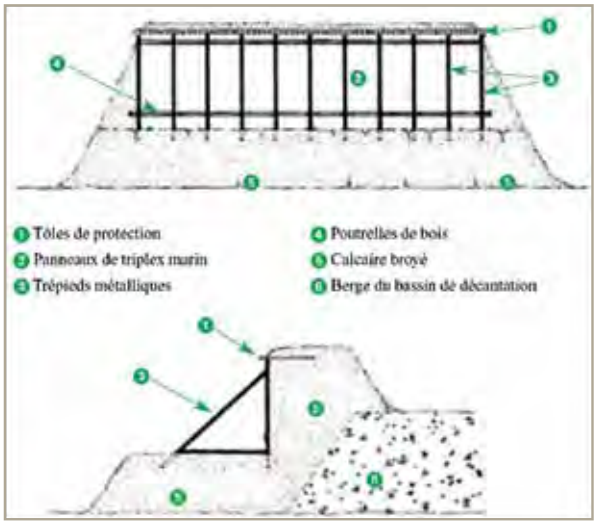
Une paroi de substitution provisoire a été créée en plusieurs étapes durant l'hiver 1991 :

1. *mise en place d'une fondation (stériles grossiers),*
2. *mise en place d'un coffrage (bois et tôles),*
3. *déversement horizontal du calcaire broyé contre le coffrage afin de bien le compacter,*
4. *mise en place de tôles de protection au sommet des parois, recouvertes par plusieurs couches de matériaux (elles limitent l'érosion par les précipitations et les risques d'éboulements).*

Un coffrage définitif a été réalisé durant l'hiver 2001 selon le schéma ci-dessous. Il mesure 25 m de long, 3,5 m de haut et 5 m d'épaisseur. Chaque année, dès le mois d'octobre, la paroi est rafraîchie grossièrement à l'aide d'un engin de terrassement. L'entretien est affiné en fin d'hiver, de façon à obtenir une paroi bien verticale. Au fil des ans, le front recule donc progressivement et la paroi doit être périodiquement reconstituée à l'aide du coffrage.

L'opération a été un succès : en 2004, la colonie hébergeait quelque 260 couples, soit près du cinquième de la population wallonne d'Hirondelles de rivage..

Mise en place du coffrage (éléments 3 et 4 sur le schéma ci-contre).
Des planches sont fixées sur la partie verticale du châssis et le calcaire broyé est ensuite compacté contre ces planches pour former une paroi verticale après enlèvement du châssis (vue ci-dessous).



Vue sur la paroi formée par compactage du calcaire broyé, installée au contact d'une zone humide.

Fiche établie à partir des données et des photographies de Noiret & Coppée, 2004.

Concernant les autres espèces, on peut présumer que les conditions sont approximativement les mêmes, sachant que le **Guêpier d'Europe** a sans doute besoin de plus de tranquillité pour se reproduire. Plus anecdotique, le **Martin-pêcheur** est également susceptible de nicher dans ce type d'habitat.

Les travaux (comme les travaux de rafraîchissement annuels) doivent être effectués hors période de reproduction. En France, les hirondelles de rivage regagnent les territoires de reproduction au cours du mois de mars et il faut donc veiller à ce que les travaux soient terminés pour le début de ce mois. La reproduction se poursuit jusqu'en juillet.

L'aménagement de parois verticales est réalisé soit par la base du stock, à l'aide d'un chargeur, soit dans sa partie supérieure, à l'aide d'une pelle mécanique.

Les parois doivent être rafraîchies régulièrement, tous les deux ou trois ans, sur une épaisseur d'environ 50 cm (longueur des terriers), afin de reconstituer une falaise propre (sans cavité), abrupte (non érodée) et vierge de végétaux.

La figure 107 relate une expérience de dépôt aménagé spécifiquement pour les Hirondelles de rivage à l'aide d'un coffrage.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 32 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des matériaux fins

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Créer des microfalaises	X Stock en place		
Aménagement	Aménager des microfalaises	X Stock en place	X Structure à construire	

7 - Les carreaux et mares temporaires

1 Description

Le carreau est le « plancher » de la carrière. Il se forme par l'avancée progressive des fronts d'exploitation **et se caractérise par sa quasi-horizontalité** (l'exploitant lui donne généralement une légère pente pour évacuer les eaux de ruissellement vers le bassin de fond de fosse). Sa surface peut atteindre plusieurs dizaines d'hectares sur les plus vastes exploitations.

On associe au carreau, qui occupe le fond de la carrière et que l'on peut qualifier de « carreau principal », les carreaux « secondaires » formés par les banquettes*, parfois nombreuses (une par gradin de 15 m), qui conservent souvent des largeurs importantes durant l'activité de la carrière (plusieurs dizaines de mètres).

Pour faciliter la description, nous distinguons deux types de carreaux : les carreaux humides et les carreaux secs :

- **les carreaux humides** sont surtout caractéristiques des roches imperméables et donc des roches éruptives. Ce type de roche étant surtout localisé dans des régions à forte pluviométrie (Massif armoricain, Massif central, Vosges), la conjonction des deux caractéristiques est favorable à la présence d'eau une grande partie de l'année sur les carreaux des carrières de ces régions, au niveau de zones dépressionnaires souvent peu profondes (un à deux décimètres le plus souvent) ;
- **les carreaux secs** se rencontrent plutôt sur les matériaux drainants, donc les calcaires. Si la roche est très drainante (roche fissurée) et la région plutôt sèche, le carreau restera sec une grande partie de l'année.

Au-delà de cette généralité, la situation sur les carrières est bien sûr plus complexe. En particulier, un carreau humide est le plus souvent constitué d'une mosaïque de milieux hygrophiles*, mésophiles* et parfois xérophiles* (donc de carreaux humides et secs), en fonction des variations de la microtopographie. Le carreau humide se rencontre également sur roche calcaire, mais assez souvent à la faveur de situations particulières : horizons marneux* qui rendent le substrat* imperméable, source en pied de front, proximité de la nappe phréatique...

Figure 108 Carreaux sec et humide

Carreau sec d'une carrière de roche calcaire du Loiret.

Carreau humide d'une carrière de grès de la Manche

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

Le principal intérêt écologique des carreaux, notamment pour les habitats hygrophiles*, réside **dans l'importance du gradient hydrique*** que l'on y observe, c'est-à-dire la forte variation d'humidité du substrat* minéral, des zones sèches aux zones toujours en eau. Par ailleurs, ces variations intéressent des surfaces conséquentes du fait des pentes très douces, parfois presque imperceptibles, que présentent les dépressions du carreau.

Cette caractéristique permet l'installation de nombreux habitats : sur carreau humide, 58 % des formations végétales inventoriées sur les carrières et, sur carreau sec, 35 %. Ces habitats sont représentés sur les figures 109 et 111 selon leurs exigences hydriques* et, par voie de conséquence, leur position topographique. Quatorze habitats d'intérêt communautaire au moins y sont recensés, dont trois sont prioritaires (tableaux 33 et 34). Pour les roches éruptives, il s'agit surtout d'habitats oligotrophes* observés sur des carrières de grès armoricain (B1, E1, B12).

Tableau 33 Les formations végétales de carreau de roches éruptives apparentées à des habitats d'intérêt communautaire

Code et intitulé de la directive Habitats		Intitulé de l'étude (Référence de la formation dans ENCEM, 2008)
3110	Eaux oligotrophes* très peu minéralisées des plaines sablonneuses (*Littorelletalia uniflorae*)	> Grève* oligotrophe (B.1)
3130	Eaux stagnantes, oligotrophes à mésotrophes des *Littorelletalia uniflorae* et/ou des *Isoeto-Nanojuncetea*	> Grève oligotrophe (B.1)
3140	Eaux oligo-mésotrophes* calcaires avec végétation benthique* à *Chara spp.*	> Herbier à characées* (A.1)
3150	Lacs eutrophes* naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*	> Herbier aquatique (A.2)
4030	Landes* sèches européennes	> Lande* atlantique à éricacées* (E.1)
6410	Prairies* à Molinia sur sols calcaires, tourbeux ou argilo-limoneux (*Molinion caeruleae*)	> Grève oligotrophe (B.1) > Prairie* hygrophile* oligotrophe acidiphile* (B.12)

Tableau 34 Les formations végétales de carreau de roches calcaires apparentées à des habitats d'intérêt communautaire

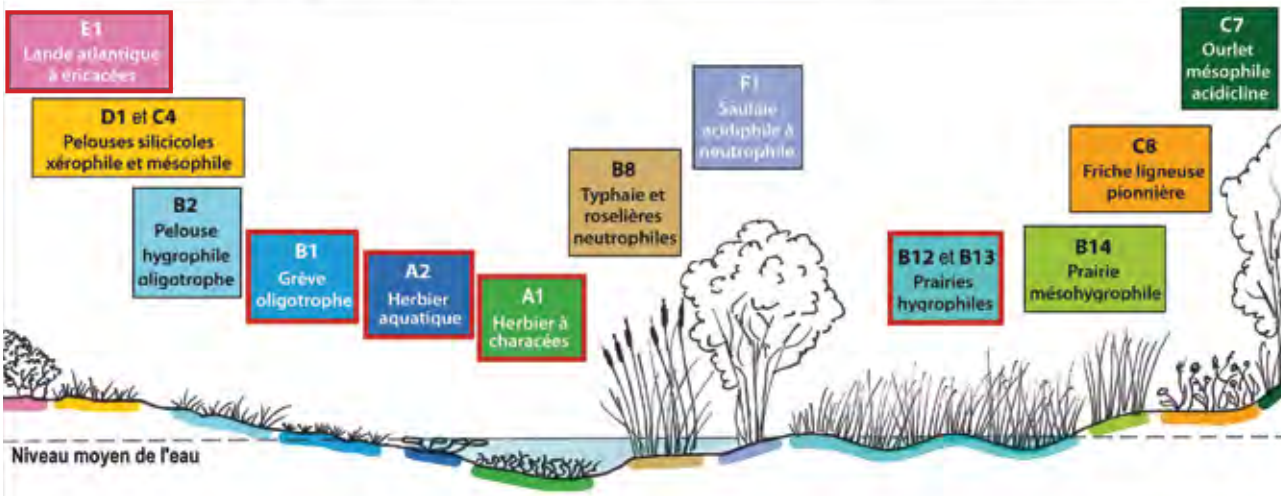
Intitulé directive Habitats		Intitulé de l'étude
3140	Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique* à *Chara* spp.	> Herbier à characées (A.1)
3150	Lacs eutrophes naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*	> Herbier aquatique (A.2)
3170-2*	**Gazons méditerranéens amphibies longuement inondés *(Preslion)***	**> Gazon amphibie méditerranéen (B.3)**
6110*	**Pelouses* rupicoles* calcaires ou basiphiles* de l'*Alysso-Sedion albi***	**> Pelouse* calcicole xérophile à orpins (D.3)**
6210	Pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embuissonnement sur calcaires*	> Pelouse calcicole mésophile* subatlantique (C.3)
6420-2	Prairies humides méditerranéennes à grandes herbes de *Molinio-Holoschoenion*	> Prairie hygrophile* méditerranéenne basiphile* (B.11)
7210*	**Marais calcaires à Cladium mariscus et espèces du *Caricion devallianae***	**> Cladiaie* (B.5)**
7230	Végétation des bas-marais neutro-alcalins	> Bas-marais alcalin (B.4)

pp : pour partie ** et caractère gras : habitat prioritaire* *(*) : Habitat prioritaire sous certaines conditions*

D'autres paramètres physiques jouent un rôle dans la diversité des habitats :

- le niveau de compactage du substrat* : plus le substrat est compact (dalle rocheuse) ou compacté (zone de passage répété des engins : piste, stocks...), plus la couverture végétale est faible et la dynamique de colonisation lente ;
- l'exposition : le caractère xérophile* et thermophile* du carreau varie en fonction de sa position par rapport aux fronts (soleil et ombre) et en fonction de la profondeur de la fosse.

Figure 109 Formations végétales des carreaux humide et sec sur roche éruptive (hors fourrés* et boisements mésophiles* à xérophiles* et hors formations méditerranéennes)

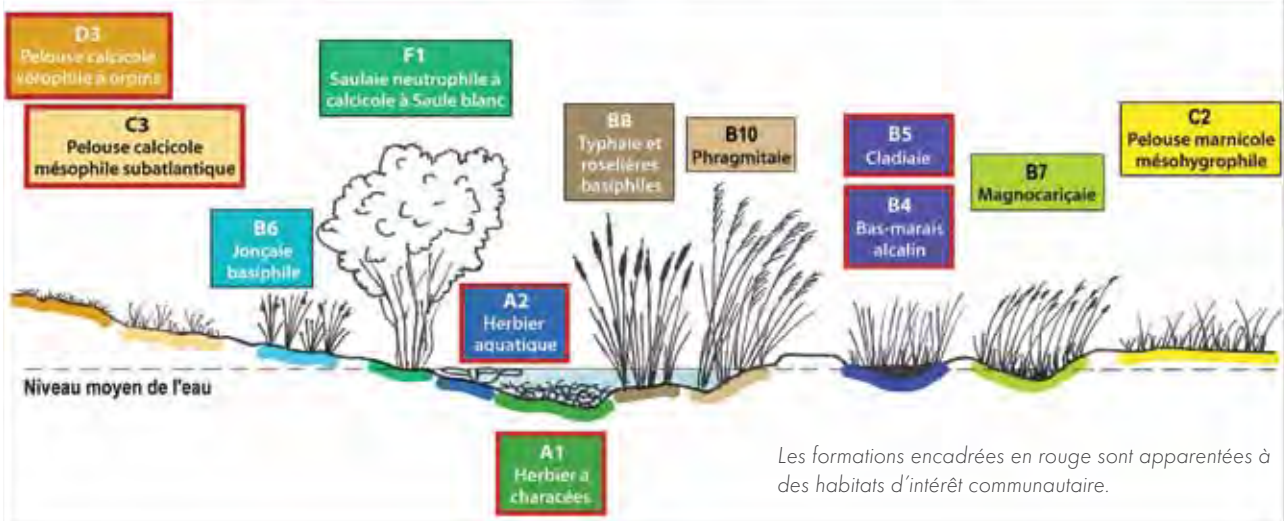


Les formations encadrées en rouge sont apparentées à des habitats d'intérêt communautaire.

Figure 110 Mare temporaire d'une carrière du Var

Deux habitats méditerranéens ne sont pas représentés sur ce schéma : la pelouse* silicicole* xérophile* méditerranéenne (D2) et le gazon amphibie méditerranéen (B3). Cette dernière formation constitue un habitat à très forte valeur patrimoniale (habitat d'intérêt communautaire *prioritaire*), lié à des conditions écologiques très spécifiques en termes de durée d'inondation et de degré trophique* du substrat*. Elle est présente en carrière de roches éruptives au niveau de mares temporaires (Figure 110).

Figure 111 Formations végétales des carreaux humide et sec sur roche calcaire (hors fourrés* et boisements mésophiles* à xérophiles* et hors formations méditerranéennes)



Les formations encadrées en rouge sont apparentées à des habitats d'intérêt communautaire.

Un habitat hygrophile* à répartition surtout méditerranéenne manque sur ce schéma : la prairie hygrophile méditerranéenne basiphile* (B11 - cf. tableau 34). Il s'agit d'un habitat d'intérêt communautaire.

2.2 Flore

Les carreaux humides et secs abritent respectivement 35 % et 49 % de la flore observée sur les carrières, dont 32 % (31 espèces) et 28 % (27 espèces) de la flore déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008). Par station inventoriée, on observe respectivement, en moyenne, 18 et 28 espèces, dont 0,4 et 0,5 espèce déterminante ZNIEFF.

On constate donc que les carreaux secs sont sensiblement plus diversifiés que les carreaux humides mais que leur valeur patrimoniale floristique est équivalente.

Parmi les espèces à forte valeur patrimoniale, on peut citer deux orchidées : la très rare Spiranthe d'été (*Spiranthes aestivalis*), observée sur un carreau humide d'une carrière de roche éruptive des Deux-Sèvres, et l'Orchis pyramidal (*Anacamptis pyramidalis*), globalement plus commune mais néanmoins rare en Mayenne où elle est bien présente dans une carrière de calcaire dolomitique (Figure 112). L'Euphraise de Jaubert (*Odontites jaubertianus* subsp. *jaubertianus*) est une plante endémique* française, protégée au niveau national, que l'on rencontre régulièrement sur les carreaux des carrières calcaires de la région Poitou-Charentes.

Figure 112 Deux espèces végétales à forte valeur patrimoniale observées sur des carreaux

Pied de Spiranthe d'été photographié sur une carrière de roche volcanique des Deux-Sèvres. Le carreau abrite près de 2000 pieds, ce qui constitue une des plus grosses stations actuellement connues au niveau national.

Peuplement d'Orchis pyramidal au sein d'une pelouse calcicole (Mesobromion) installée sur un carreau d'une carrière de calcaire primaire de la Mayenne.

2.3 Faune

2.3.1 Invertébrés

Les carreaux, qu'ils soient secs ou humides, ont un fort potentiel attractif pour les invertébrés. 8,2 espèces d'orthoptères* et 7,1 espèces d'odonates* ont été comptabilisées en moyenne sur les stations de carreaux humides étudiés, et 8,7 espèces d'orthoptères* sur les stations de carreaux secs (ENCEM, 2008).

Sur les pelouses et friches des carreaux secs, l'entomofaune* est souvent diversifiée, comprenant de nombreux orthoptères*, coléoptères* carabiques* (cicindèles), hyménoptères*, lépidoptères* (piérides, azurés, hespéries...), etc. Les arachnides et mollusques sont également bien représentés, ces derniers étant même abondants sur calcaire, profitant de la richesse du substrat* en carbonate de calcium pour la formation de leur coquille (*Pomatia elegans,* hélicelles...). Plusieurs études ont pu mettre en évidence l'intérêt des carreaux secs pour les peuplements invertébrés thermophiles* à xérothermophiles*, et notamment dans le nord de la France et en Belgique où les carrières calcaires abritent fréquemment des biocénoses* rares (Remacle, 2005).

Les carreaux humides sont logiquement colonisés par de nombreux insectes amphibies et parmi eux les **odonates***. Suivant le caractère temporaire ou permanent des mares et la richesse en végétation, on y observe des peuplements pionniers (Agrion nain, Orthétrum brun...) ou plus matures (Aeschnes, Agrions, Cordulies...). 0,5 espèce déterminante ZNIEFF a été contactée en moyenne par station (ENCEM, 2008).

Figure 113 L'Agrion nain

L'Agrion nain (Ischnura pumilio) est une espèce caractéristique des milieux récents peu profonds. Il est donc abondant sur les carreaux humides.

Parmi les insectes, les **orthoptères*** forment l'un des peuplements les plus représentatifs des carreaux puisqu'ils colonisent aussi bien les carreaux secs que les carreaux humides : les orthoptères thermophiles* ou xérophiles* se répartissent, selon les espèces, dans les zones surtout minérales (Oedipode à ailes bleues, Oedipode aigue-marine, Gomphocère tacheté) ou sur les pelouses* (Decticelle chagrinée, Criquet gaulois). Sur les carreaux humides, il est fréquent de rencontrer ces mêmes espèces sur les zones les plus sèches, mais qui côtoient alors des espèces nettement hygrophiles* (Grillon des marais, Grillon des torrents, Criquet émeraude, Tétrix des vasières). 0,4 et 1 espèce déterminante ZNIEFF ont été contactées en moyenne par station, respectivement sur carreaux sec et humide (ENCEM, 2008).

Figure 114 Exemple de cohabitation de trois espèces d'orthoptères sur carreau humide

Ces trois espèces aux exigences écologiques très distinctes cohabitent fréquemment sur des carreaux de carrières de roches massives : Grillon des marais (espèce hygrophile), Criquet émeraude (espèce rivulaire) et Oedipode aigue-marine (espèce xérophile).

2.3.2 *Vertébrés*

Chez les vertébrés, les carreaux humides sont bien sûr très favorables au développement des **amphibiens** puisque la quasi-totalité des espèces recensées en carrières de roches massives s'y reproduisent (ENCEM, 2008). La diversité des mares permet une répartition des espèces selon leurs exigences écologiques. Les mares permanentes bien végétalisées abritent des espèces de milieux semi-ouverts telles les Rainettes verte et méridionale, le Crapaud commun, tandis que les mares temporaires sont colonisées par des espèces pionnières telles que le Crapaud calamite, le Pélodyte ponctué ou encore l'Alyte accoucheur.

Figure 115 Pontes d'amphibiens en mares temporaires

Certaines pontes d'amphibiens se repèrent facilement dans les mares des carrières. Ce sont surtout les pontes des crapauds, en cordons plus ou moins allongés (à gauche, ponte de Crapaud commun) et les pontes de grenouilles, en masses gélatineuses groupées ou isolées (à droite, ponte isolée de Grenouille agile, de la taille d'un petit ballon). Pontes photographiées en février dans le centre de la France.

- **Les reptiles** colonisent préférentiellement les zones les plus sèches. La présence de mares est cependant indispensable à certaines espèces, notamment pour s'alimenter (Couleuvre vipérine et Couleuvre à collier).

- Les carreaux sont des zones de nidification préférentielles pour des **oiseaux** tels que le Petit Gravelot sur substrat* essentiellement minéral ou bien pour l'Œdicnème criard, le Cochevis huppé ou les Alouettes des champs et lulu dès lors qu'une végétation maigre s'y développe. Ces espèces de milieux ouverts sont parfois rares à l'échelon régional et les carreaux de carrières peuvent alors offrir des milieux de substitution intéressants. À noter également que les mares temporaires attirent un certain nombre d'oiseaux de passage qui font là une courte halte sur leur trajet migratoire (limicoles* variés, passereaux...).

Figure 116 Deux oiseaux caractéristiques des carreaux

Petit Gravelot s'alimentant sur un carreau humide d'une carrière de grès de Saône-et-Loire. La zone de reproduction est un carreau sec, souvent riche en cailloux pour pouvoir mieux camoufler les œufs qui sont couvés à même le sol minéral.

Œdicnème criard sur une carrière de calcaire de la Beauce.

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 35 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des carreaux

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables
Grande variabilité du degré d'humidité et juxtaposition d'habitats humides et secs (mosaïque d'habitats). **Milieu ouvert à semi-ouvert sur de grandes surfaces** (substrat compact).	**Uniformité des habitats,** notamment sur substrat drainant et/ou en cas de dépressions trop peu profondes (simples flaques) qui ne permettent pas le développement de plantes et d'animaux des zones humides. **Fermeture du milieu** liée à la dynamique naturelle de la végétation, parfois accélérée par l'apport de substrat plus riche (terre végétale...).

Quel est l'intérêt écologique des carreaux ?

- Seul milieu de la carrière capable d'offrir de grandes variations d'humidité sur des surfaces conséquentes et donc d'accueillir certaines espèces et certains milieux intéressants.
- Milieu au substrat compact, qui permet le maintien de milieux ouverts sur les carrières inexploitées.

3 La gestion écologique au quotidien

Limiter l'installation des amphibiens

Il est préférable d'éviter de créer des milieux favorables aux espèces aquatiques (amphibiens notamment) dans les zones d'activité régulière de l'exploitation, pour limiter l'effet « puits* » (milieu attractif pour la faune mais où la mortalité est très importante). Sur les substrats imperméables (roches éruptives, roches calcaires argileuses), il faut veiller à limiter autant que possible la formation de dépressions dans lesquelles les eaux de ruissellement peuvent s'accumuler. Mais cette mesure peut être difficile à mettre en place, certaines espèces (Crapaud calamite par exemple) s'accommodant de milieux à très faible durée d'inondation (quelques semaines) et/ou de surface très réduite (ornière d'engin par exemple).

Conserver des secteurs de carreaux minéraux en l'état, à l'abri des activités de la carrière

En laissant des secteurs de carreaux inexploités, on peut créer au cœur de l'exploitation des zones de quiétude favorables au développement d'une végétation pionnière* à dynamique lente et à des animaux recherchant les substrats* nus pour se reproduire ou s'alimenter (Petit Gravelot, Œdicnème criard, Crapaud calamite...).

Contraintes liées aux espèces protégées : cf. réglementation § 2.4.2

Figure 117 Zone de quiétude mise en place sur un carreau de carrière en activité

Sur cette carrière de schiste du Maine-et-Loire, des barrières ont été installées par l'exploitant (flèches rouges) pour empêcher l'accès des engins à une partie du carreau abritant des mares temporaires particulièrement riches (présence de libellules - Ischnura pumilio, Orthetrum brunneum -, de characées - Chara globularis, C. vulgaris, C. contraria -, d'amphibien - Alytes obstetricans -, d'oiseau - Petit Gravelot). Cette mesure a duré deux ans, dans l'attente de l'exploitation de cette partie de la fosse (données du CPIE* Loire et Mauges).*

Diverses préconisations peuvent être formulées :

- définir des secteurs susceptibles d'être conservés en l'état au minimum cinq ans ;
- la surface importe peu : quelques m^2 suffisent à la reproduction d'un couple d'Œdicnème criard mais des surfaces de l'ordre de 1 000 à 2 000 m^2 (ou plus) sont préférables, par exemple pour garantir une meilleure sécurité aux jeunes œdicnèmes en phase de nourrissage ;
- définir plusieurs secteurs de surface moyenne plutôt qu'un seul de grande superficie, de manière à mieux répartir les zones d'accueil et les biocénoses*, notamment lorsqu'un des secteurs doit être remanié dans le cadre de l'exploitation ;
- définir préférentiellement des secteurs qui peuvent être en relation avec des milieux inexploités (dans la carrière ou en périphérie), via des pistes ou des talus assez peu pentus, de manière à faciliter les échanges entre des milieux nécessaires à l'accomplissement du cycle biologique complet des espèces (par exemple, entre le secteur utilisé par un amphibien comme zone d'alimentation et un bassin lui permettant de se reproduire, ou entre le secteur utilisé par un oiseau pour nicher et des prairies ou des friches lui permettant de nourrir ses jeunes) ;

- ne remanier ces secteurs (dans le cadre de l'exploitation) qu'en périodes automnale et hivernale, du mois de septembre au mois de février inclus ;
- signaler clairement le périmètre des secteurs « protégés », par exemple par des bandes de chantier et un petit merlon de moins d'un mètre de hauteur, pour que le personnel intervenant sur la carrière, notamment les sous-traitants éventuels, ne puisse y accéder par mégarde. Des panneaux « Secteur protégé pour la faune et la flore », en complément de ce dispositif, seront encore plus explicites et auront un rôle pédagogique pour le personnel et les visiteurs éventuels (public, DRIRE...) ;
- assurer un entretien des secteurs en cas d'évolution rapide de la végétation ;
- définir les secteurs à conserver avec l'assistance d'un écologue (association naturaliste, bureau d'études...) et faire réaliser un suivi écologique régulier (au moins annuel).

Limiter la fermeture du carreau par la végétation

Sur les carreaux, la colonisation végétale est souvent ralentie par le caractère compact du substrat* minéral. Un envahissement progressif par la végétation herbacée* et/ou par les ligneux* s'opère néanmoins, de façon plus ou moins rapide en fonction du tassement ou de la fracturation du substrat*. Les carreaux humides semblent plus exposés que les carreaux secs à cette fermeture du fait de la vigueur des arbustes hygrophiles* (saules notamment).

Il est préférable d'éviter une fermeture totale du carreau, soit par des travaux d'entretien de la végétation, soit par un « rajeunissement » du substrat (cf. § 4.5.2 : le déboisement).

Limiter l'atterrissement* des mares

Les mares se comblent rapidement quand une végétation amphibie dense les colonise, notamment les peuplements de massettes (*Typha* sp.) dont les débris ne se dégradent que lentement.

La première technique consiste à faucher la végétation tous les ans, en fin d'été, et à exporter les produits de la fauche. Si la mare continue de s'atterrir, il faut alors la curer à l'aide d'une pelle mécanique à godet lisse, si possible en intervenant en hiver et sur la moitié de la mare uniquement, de façon à conserver une partie de la faune enfouie dans la vase et les débris végétaux (invertébrés, amphibiens). L'autre moitié peut être curée l'hiver suivant.

Figure 118 Mare en voie d'atterrissement*

4 Les aménagements à vocation écologique

Favoriser des combinaisons d'habitats

Certaines « combinaisons » d'habitats sont indispensables au déroulement de plusieurs phases (ou de la totalité) du cycle biologique de certaines espèces. Sur les carreaux, il peut s'agir des combinaisons suivantes :

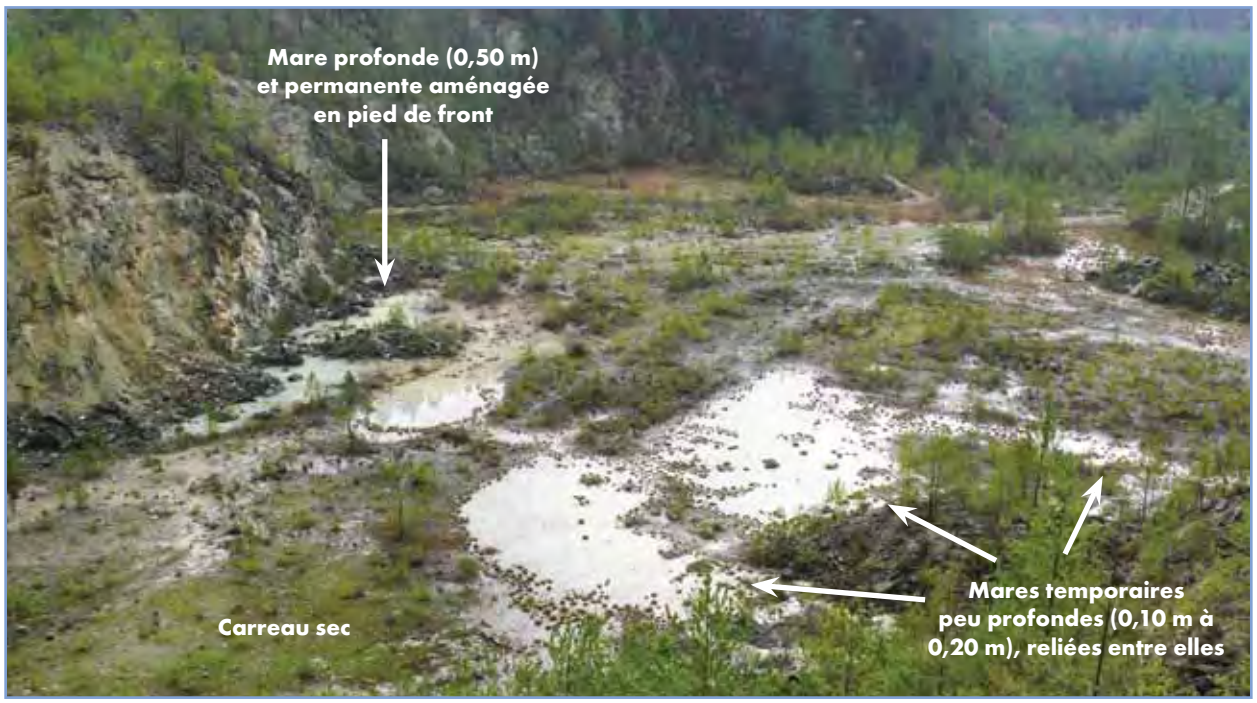
- **« 1. Milieux aquatiques/2. dépôts de matériaux »** pour 1. la reproduction et 2. l'abri d'amphibiens pionniers* tels que le Crapaud calamite et le Crapaud accoucheur. Les dépôts peuvent être de diverses natures (du sable aux blocs) mais les granulométries* moyennes (sables et cailloux) sont préférables. Leur exposition doit être variée pour pouvoir offrir des conditions diversifiées de chaleur et d'hygrométrie*. Des reptiles ovipares tels que la Couleuvre à collier utilisent parfois ces dépôts meubles pour l'incubation de leurs œufs.

- **« 1. Milieux aquatiques/2. Milieux boisés »** pour 1. la reproduction et 2. l'abri d'amphibiens liés aux milieux boisés en phase terrestre, comme la Salamandre tachetée, la Rainette verte, la Grenouille agile, les Tritons marbré et crêté...
- **« 1. Milieux buissonnants /2. Milieux herbacés* »** pour 1. la nidification et 2. l'alimentation d'oiseaux tels que le Tarier pâtre, la Fauvette grisette, la Pie-grièche écorcheur... (cf. « Favoriser les fourrés* et les boisements » en fin de fiche).

Créer un réseau de mares temporaires à permanentes et des zones de végétation amphibie

- **Sur un substrat* imperméable**, une ou plusieurs mares peuvent facilement être aménagées à l'aide d'une pelle mécanique. Le choix du lieu d'implantation est prépondérant en région sèche car il importe de collecter au maximum les eaux de ruissellement pour que la durée d'inondation soit la plus longue possible.

Figure 119 Exemples de réseaux de mares aménagés sur des carreaux de roches éruptives



Ci-dessus : carrières de grès d'Ille-et-Vilaine. Ci-contre et ci-dessous : carrière de grès du Bas-Rhin.

Les carreaux des deux sites ne sont alimentés que par les eaux pluviales. On notera la mise en place de dépôts pierreux de différentes granulométries pour l'abri des amphibiens.*

Une situation en pied de front permet parfois de bénéficier des apports d'eaux qui ruissellent sur le front (eaux météoriques sur un front exposé aux vents océaniques et parfois eaux souterraines) tout en limitant l'accès au front pour un public éventuel (diminution du risque d'accident et du dérangement pour les oiseaux rupestres).

Si la surface est suffisante, un réseau de mares peut être mis en place en creusant plusieurs dépressions de superficies (100 à 1000 m^2) et de profondeurs variables (0,20 m à 1 m), reliées entre elles par des dépressions linéaires, ce qui permet d'obtenir une grande diversité de conditions physiques et notamment une forte variation du gradient hydrique. Les nombreux accidents micro-topographiques créés par la pelle sont conservés, voire amplifiés.

Les formations végétales aquatiques, amphibies et hygrophiles* susceptibles de coloniser ces milieux sont représentées sur la figure 120.

- **Sur un substrat* perméable**, le choix du lieu d'implantation est primordial. Il convient de bien localiser les secteurs qui collectent les eaux météoriques et parfois souterraines (source, nappe subaffleurante), d'aménager des dépressions relativement profondes (1 m à 1,50 m) et de colmater le fond de la dépression avec de l'argile sur une épaisseur d'au moins 50 cm. Là encore, la création d'un réseau de mares augmente les potentialités d'accueil (cf. formations végétales de la figure 111).

Aménager des pelouses* sèches calcicoles* et silicicoles*

Les pelouses sèches sur substrat calcaire (alliances du *Mesobromion* et du *Xerobromion*) et sur substrat siliceux (alliance du *Thero-Airion* notamment) sont des formations herbacées* basses, plus ou moins riches en plantes annuelles, qui colonisent les lithosols* compacts. Elles peuvent donc occuper des surfaces importantes sur les carreaux.

- Pour créer ce type d'habitat à partir d'un carreau minéral en fin d'exploitation, le mieux est d'essayer de **mettre à nu la roche mère* sous-jacente** en retirant avec un chargeur l'horizon argilo-caillouteux qui a pu s'accumuler sur une épaisseur de quelques centimètres. La roche ne pourra jamais être mise totalement à nu et les quelques dépôts fins qui resteront permettront une colonisation du carreau par des espèces spécialisées des pelouses, notamment les plantes annuelles dans un premier temps.

- S'il s'agit d'un carreau ancien fortement végétalisé (ronciers, buissons), il est nécessaire de rajeunir le milieu par un étrépage* des secteurs où la végétation est la moins dense. Les travaux commencent par un débroussaillage des principaux fourrés* qui sont évacués à l'extérieur du carreau. Le décapage de la partie superficielle du substrat* est ensuite réalisé au chargeur. L'épaisseur de substrat organo-minéral à enlever dépend du degré de compactage et de fracturation de la roche. Les matériaux décapés peuvent être stockés en périphérie du carreau. Enfin, un compactage du substrat est réalisé en faisant circuler le chargeur sur les terrains concernés plusieurs fois de suite et dans différentes directions.

Le substrat doit être sec. Il faut donc privilégier les secteurs les mieux drainés et les plus ensoleillés du carreau, hormis dans le sud de la France où un gradient* de sécheresse peut être recherché en jouant sur le degré d'ensoleillement du carreau.

Pour éviter une trop grande uniformité de milieu, des micro-dénivelés formés par le chargeur, des cailloux épars et des blocs rocheux isolés ou en groupes formeront autant de micro-habitats.

Aménager des prairies* mésophiles*

La prairie est une formation herbacée* dominée par des graminées* vivaces*, plus dense et plus haute que la pelouse*. Son maintien nécessite une fauche ou un pâturage régulier.

La prairie mésophile se développe dans des conditions hydriques* intermédiaires entre la prairie hygrophile* (cf. mares temporaires à permanentes) et la pelouse* sèche, sur des sols assez drainants qui possèdent néanmoins une assez bonne réserve en eau. Elle est donc surtout présente sur les remblais de matériaux stériles*, mais de façon provisoire car elle évolue naturellement vers des fourrés*. Son implantation sur un carreau demande simplement un régalage* de matériaux stériles sur une épaisseur relativement faible, de 10 à 20 cm, qui limitera l'installation des fourrés. Un entretien reste cependant indispensable.

Aménager des landes à éricacées*

Cette formation n'a été observée que sur les gisements de grès (ou quartzites), roche riche en silice et pauvre en éléments minéraux (substrat* oligotrophe*). Elle colonise parfois les carreaux mais les peuplements restent généralement lâches. Une décompaction du substrat sur un à deux décimètres favorise la densification de la lande qui n'évolue ensuite que très lentement vers les formations arbustives et arborées (phénomène de blocage de la dynamique végétale dans des formations oligotrophes denses).

Favoriser les fourrés* et boisements

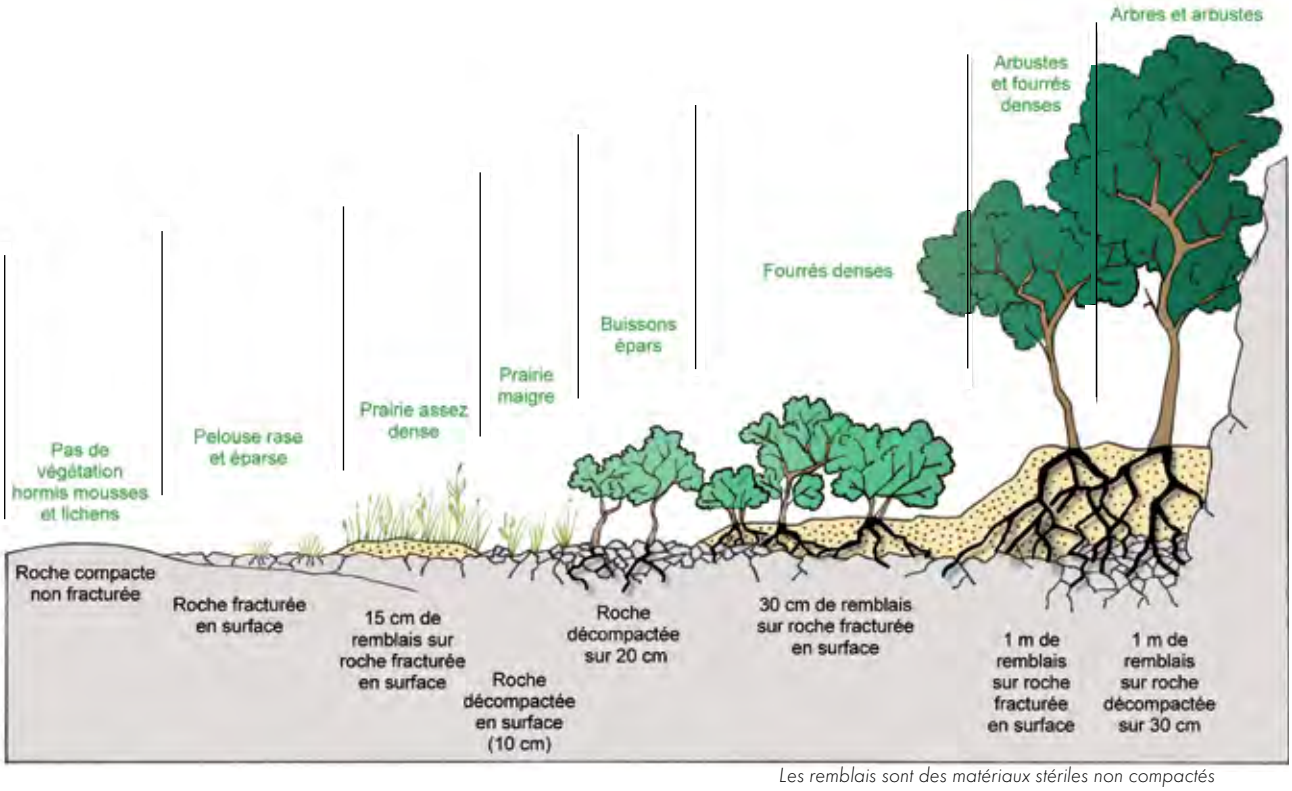
La colonisation du carreau par les ligneux* (landes hautes à genêts ou ajoncs, cistaies, peuplements arbustifs et arborés...) peut être favorisée par décompaction du carreau et/ou par apport de matériaux meubles, de manière à constituer un horizon favorable au développement des racines (ancrage au sol et réserve en eau). Globalement, plus cet horizon sera épais et plus des arbres de grande dimension pourront s'installer. On estime que pour le développement d'espèces arborées cet horizon doit avoir une épaisseur minimale de 1 m hors eau (Vanpeene-Bruhier, 2003).

La décompaction de la roche ne peut être réalisée que sur des matériaux peu compacts (calcaires tendres) ou bien fracturés, soit à l'aide d'une pelle mécanique sur des surfaces de quelques m^2, soit à l'aide d'un ripper* sur de plus grandes étendues. La profondeur décompactée ne peut guère dépasser une trentaine de centimètres, ce qui est suffisant pour l'installation de fourrés*.

Sur ces secteurs décompactés par rippage*, des matériaux stériles peuvent ensuite être déposés pour permettre l'installation de peuplements arbustifs et arborés. Des variations dans l'épaisseur des remblais induiront une diversité dans les formations végétales en cas de colonisation naturelle. Des semis ou des plantations peuvent également être réalisés si l'on souhaite accélérer la reprise végétale ou constituer un boisement de composition particulière (cf. § 4.6.1 et 4.6.2).

Document de référence : *Réaménagements forestiers des carrières de granulats* (Vanpeene-Bruhier, 2003).

Figure 120 Évolution de la végétation en fonction du substrat



Les remblais sont des matériaux stériles non compactés

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 36 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des carreaux

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Conserver des secteurs de carreaux en l'état	X		
	Entretien des carreaux et des mares conservés	X	X Curage des mares	
Aménagements	Créer un réseau de mares	X	X Colmatage du fond sur substrat drainant	
	Aménager des pelouses sèches	X		
	Aménager des prairies* et les entretenir		X Entretien	
	Favoriser les fourrés et boisements	X Végétalisation spontanée	X Plantations Pas ou peu d'entretien	

** Une prairie nécessite un entretien par du matériel agricole et demande donc à être réalisée avec des moyens de nivellement (bulldozer) et une granulométrie adéquats (usure des pneus du matériel agricole).*

8 - Les bassins permanents

1 Description

Ce secteur d'exploitation comprend deux principaux types de bassins :

- les **bassins de fond de fosse**, constitués généralement d'une petite fosse servant à récupérer les eaux souterraines et météoriques en fond de carrière (eaux d'exhaure*). L'eau y est pompée de façon régulière, ce qui conduit à une certaine stabilité du niveau d'eau. Leur profondeur n'excède pas quelques mètres. Ils sont déplacés au fur et à mesure de l'approfondissement de la fosse ;
- **tous les bassins de faible profondeur**, dont la fonction n'est pas toujours bien connue ou bien définie durant l'exploitation (récupération localisée des eaux d'exhaure) ou qui se forment après l'exploitation, par exemple dans des fosses calcaires où la nappe phréatique affleure.

Figure 121 Quelques exemples de la diversité des bassins permanents présents en carrière

Ci-dessus, bassin de fond de fosse d'une carrière de gneiss des Côtes-d'Armor. La pompe apparaît sur la bordure gauche.
Ci-dessous, bassin de fond de fosse d'une carrière de calcaire primaire du Maine-et-Loire.

Ci-dessus, petit bassin recueillant les eaux d'une source, en pied de front. Carrière de calcaire de Côte-d'Or.
Ci-dessous, petit bassin intermédiaire en fond de fosse (sans pompage). Carrière de grès d'Ille-et-Vilaine.

Tableau 37 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux bassins permanents

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen			Si bassin d'exhaure*	
Enjeu fort				

Sur certaines carrières, les bassins de fond de fosse assurent également le rôle de bassin d'exhaure pour le traitement des eaux rejetées dans le milieu naturel. Ils ont alors un rôle important dans la protection des eaux. Lorsque les eaux pompées transitent par un bassin d'exhaure, les enjeux de protection sont plus faibles, chaque bassin assurant une partie du traitement.

Les bassins permanents présentent un certain danger pour le personnel et le public (risque de noyade).

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

Les formations aquatiques (herbiers) et les formations amphibies (roselières au sens large) trouvent dans les bassins permanents des conditions d'accueil favorables lorsque les dépôts argileux atteignent une épaisseur suffisante pour l'enracinement des végétaux. Lorsque le substrat* reste rocailleux, seules les massettes (*Typha* sp.) et les characées* arrivent à coloniser les bassins.

Trois habitats d'intérêt communautaire ont été inventoriés sur les bassins permanents (ENCEM, 2008. Tableau 38).

Tableau 38 Les formations végétales de bassins permanents apparentées à des habitats d'intérêt communautaire

Code et intitulé de la directive Habitats		Intitulé de l'étude
3110	Eaux oligotrophes* très peu minéralisées des plaines sablonneuses (*Littorelletalia uniflorae*)	> Grève* oligotrophe* (B.1)
3140	Eaux oligo-mésotrophes* calcaires avec végétation benthique* à *Chara* spp.	> Herbier à characées* (A.1)
3150	Lacs eutrophes* naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*	> Herbier aquatique (A.2)

Figure 122 Deux habitats aquatiques d'intérêt communautaire rencontrés sur des bassins permanents

Herbier à Characées (A1). Carrière de calcaire de Saône-et-Loire.

Herbier aquatique à potamots immergés (A2). Carrière de calcaire du Loiret.

Potamot perfolié (Potamogeton perfoliatus)

2.2 *Flore*

Les bassins permanents abritent 12 % de la flore recensée en carrière et sont donc sensiblement moins riches que les bassins de décantation (17 %). Ils n'abritent également que 4 % de la flore à forte valeur patrimoniale (contre 9 % pour les bassins de décantation, ENCEM, 2008). Cette situation résulte, dans les carrières en activité, de leur localisation au cœur du gisement et de leur remaniement régulier. Les berges souvent abruptes limitent les possibilités de colonisation, même après l'arrêt de l'activité.

Figure 123 Végétation aquatique et amphibie de bassins permanents

Ci-dessus : herbier à Potamot à feuilles de renouée (Potamogeton polygonifolius) dans des eaux acides et oligotrophes d'une carrière de grès d'Ille-et-Vilaine.*
Ci-contre : typhaie de massette à feuilles larges (Typha latifolia) dans une carrière de grès de Belgique.*

2.3 *Faune*

2.3.1 *Invertébrés*

Les bassins permanents sont les milieux aquatiques les plus riches en Odonates*, avec 78 % des espèces observées et plus de 7 espèces en moyenne par station, dont 1,4 espèce déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008). Les invertébrés aquatiques ou amphibies profitent des conditions relativement stables et peu perturbées de ces milieux, ainsi que de la présence de végétation aquatique, indispensable aux espèces qui pondent dans les végétaux (espèces endophytes*). Par ailleurs, le caractère généralement oligotrophe des eaux est recherché par les espèces pionnières*.

Figure 124 L'Agrion délicat

L'Agrion délicat (Ceriagrion tenellum) est une des libellules les plus fréquemment observées dans les bassins permanents. Il s'agit d'une espèce endophyte, qui recherche les points d'eau à végétation herbacée* abondante.*

2.3.2 *Vertébrés*

La totalité des espèces d'amphibiens recensées en carrière a pu être observée sur des bassins permanents, chaque station échantillonnée abritant en moyenne 2,8 espèces, dont 1,2 espèce déterminante (ENCEM, 2008).

Concernant les **oiseaux**, les grands bassins semblent attractifs pour des espèces aquatiques comme la Gallinule poule d'eau, le Canard colvert ou le Grèbe castagneux lorqu'ils abritent une végétation rivulaire* suffisamment développée (typhaie*, phragmitaie*, jonçaie*...). Certains passereaux paludicoles* (Rousserolle effarvatte, Cisticole des joncs...) se reproduisent également dans ces formations amphibies.

Figure 125 Quelques vertébrés courants des bassins permanents

Jeune couleuvre à collier

Rainette verte

Gallinule poule-d-eau

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 39 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des bassins permanents

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables
Faible profondeur (moins de 2 m).	**Bassin encaissé entre des fronts subverticaux.**
Berges en pentes douces.	**Niveau d'eau maintenu constant en toutes saisons par le pompage.**
Eaux peu chargées en matières en suspension.	
Fond couvert d'un dépôt argileux (enracinement des végétaux et enfouissement des insectes).	

Quel est l'intérêt écologique des bassins permanents ?

- **Habitat proche des mares, milieux en forte régression, notamment en région de plaine.**

Figure 126 Bassin de fond de fosse

Les berges en pentes douces et une eau mésotrophe peu chargée en minéraux ont favorisé la colonisation végétale et animale sur ce bassin de fond de fosse d'une carrière de gneiss des Côtes-d'Armor.*

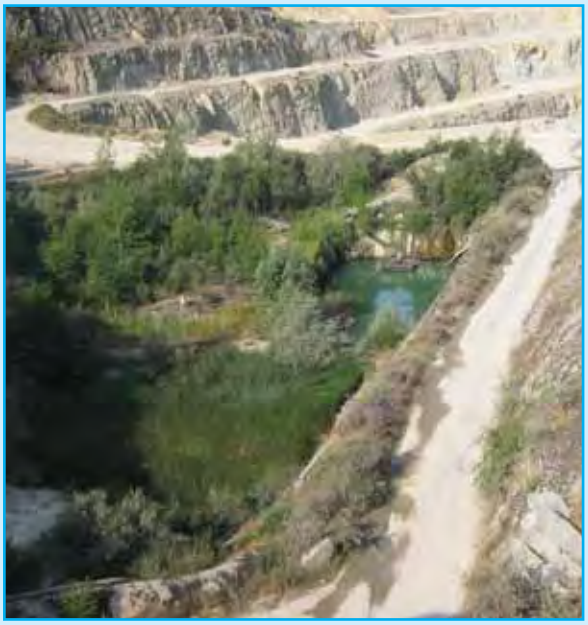
3 La gestion écologique au quotidien

Conserver et gérer les bassins de l'exploitation

Les bassins les plus riches en végétation, avec des berges en pente douce, nécessitent une attention particulière. Dans les bassins de fond de fosse, les milieux créés dépendent du maintien du pompage et du niveau de stabilisation de l'eau et sont donc susceptibles de disparaître si ces paramètres sont modifiés. À l'inverse, des bassins sans intérêt peuvent parfois être valorisés, par exemple en diminuant la hauteur d'eau ou en stabilisant la zone de marnage* au niveau d'un secteur en pente douce.

L'empoissonnement des bassins est à éviter si l'on souhaite favoriser la faune aquatique (mollusques, insectes, amphibiens... ; cf. § 4.2.5.).

Figure 127 Zone humide d'un bassin de fond de fosse



Une végétation de roselière a colonisé les abords très humides de cet ancien bassin de fond de fosse utilisé désormais en bassin d'exhaure. Carrière de gneiss de Loire-Atlantique

Assurer une continuité dans les bassins lors de l'approfondissement

Le bassin de fond de fosse disparaît lorsque le palier sur lequel il se trouve est approfondi, pour être transféré sur le palier suivant. Cette opération peut perturber de façon importante tout ou une partie des populations animales qui ont colonisé ce bassin et qui, parfois, ne sont présentes sur la carrière qu'au niveau de ce bassin (cas d'une petite population de Crapaud accoucheur, par exemple). Il peut être utile, dans ce cas, d'aménager en fond de fosse un bassin « relais » qui ne sera pas remanié au même moment ou sera même conservé. Ce bassin permet de répartir les populations animales en plusieurs points de la fosse et ainsi assurer leur survie. Il doit donc être en place au moins un an avant les travaux de transfert du bassin de fond de fosse.

Figure 128 Bassin de fond de fosse isolé

Ce bassin de fond de fosse va être transféré au niveau du palier inférieur. C'est le seul bassin permanent de la fosse et il serait donc utile, soit de le conserver en partie, soit de créer un nouveau bassin au moins avant son transfert. Carrière de granite du Finistère.

4 Les aménagements à vocation écologique

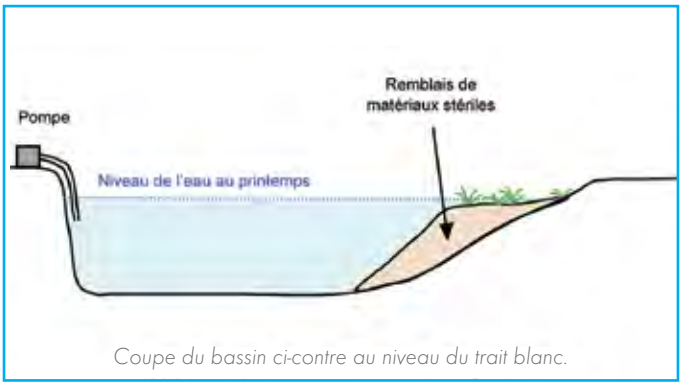
Aménager les bassins existants

Comme pour tous les milieux aquatiques, c'est la mise en place d'une vaste zone de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique qui peut augmenter les potentialités d'accueil des bassins. Une berge en pente douce peut être aménagée, même sur une surface réduite, à l'aide de matériaux stériles qui, en outre, faciliteront l'installation des végétaux (Figure 129).

Pour être efficace, la partie peu pentue de cette berge doit être encore légèrement sous l'eau au printemps (mai) pour s'exonder progressivement durant l'été. Si le pompage maintient un niveau presque constant durant toute l'année, il faut placer la moitié inférieure de la berge en pente douce sous le niveau moyen de l'eau.

Figure 129 Aménagement d'une zone humide sur bassin de fond de fosse

Bassin de fond de fosse caractéristique.



Coupe du bassin ci-contre au niveau du trait blanc.

Un remblai de quelques m³ de stériles adossé au front, sur la moitié environ de la largeur du bassin ci-contre, suffirait pour constituer une petite zone humide.

Créer des bassins permanents

La mise en place de bassins permanents est un aménagement réalisable lors de la remise en état d'une carrière de roches massives. Les recommandations d'ordre général du § 4.4 (aménagement des milieux aquatiques) s'appliquent bien sûr aux bassins permanents mais leur mise en œuvre peut être difficile dans de la roche dure. L'utilisation de matériaux stériles pour façonner les berges et créer des zones de haut-fond peut alors faciliter les travaux.

Figure 130 Bassin permanent aménagé lors de la remise en état d'une carrière de roche calcaire des Deux-Sèvres

Ce bassin paysager mis en place dans le cadre de la remise en état du site aurait pu être valorisé par des aménagements écologiques sur une partie de sa surface, notamment des portions de berges en pente douce.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 40 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des bassins permanents

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Conserver les bassins	x Gestion de la sécurité		
	Assurer une continuité dans les bassins		x	x
Aménagements	Aménager les bassins existants	x		
	Créer des bassins permanents			x

9 - Les bassins de décantation

1 Description

Les bassins de décantation servent au traitement des eaux chargées en éléments fins (argiles et limons). Ils permettent, par simple gravitation, de réduire le taux de matières en suspension* (MES). On distingue deux principaux types de bassins :

- **les bassins d'eaux de procédés** qui récupèrent les eaux de lavage des matériaux en circuit fermé. Ces eaux sont très chargées et nécessitent donc souvent de grands bassins et/ou de nombreux bassins installés en série. Le premier bassin est curé régulièrement et les boues récupérées sont souvent stockées avec les matériaux stériles. Parfois, quand la place est suffisante, les bassins remplis sont conservés en l'état et de nouveaux bassins sont aménagés ;
- **les bassins d'exhaure** qui traitent, avant le rejet dans le milieu naturel, les eaux qui s'accumulent dans la carrière (notamment au niveau du bassin de fond de fosse). Les eaux pompées sont assez peu chargées et le (ou les) bassin(s) sont de ce fait rarement curés.

Les bassins sont creusés dans le terrain naturel ou aménagés avec des digues. Leur profondeur excède rarement 2 à 3 mètres.

Figure 131 Bassins d'eaux de procédés et d'eaux d'exhaure

Deux bassins d'eaux de procédés. À gauche, un grand bassin qui sera conservé en l'état. À droite, premier bassin régulièrement curé. Ces bassins de carrières à forte production sont souvent pauvres en espèces animales et végétales.

Deux bassins d'eaux d'exhaure. À gauche, un bassin d'une carrière de grès d'Ille-et-Vilaine. À droite, un bassin d'une carrière de calcaire primaire du Maine-et-Loire. Le fond de ce bassin assez profond est tapissé de characées (algues pionnières).

Tableau 41 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux bassins de décantation

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen				
Enjeu fort				

Les bassins d'exhaure jouent un rôle important dans le traitement des eaux. Leur structure (surface, profondeur, agencement en série...) est étudiée pour remplir au mieux ce rôle.

Les bassins de décantation sont remplis de boues qui s'assèchent progressivement. Ils sont dangereux (risque d'enlisement et de noyade) tant qu'ils ne sont pas complètement ressuyés*.

2 Intérêt écologique

2.1 *Habitats naturels*

En cours d'exploitation, **les bassins d'eaux de procédés** sont essentiellement occupés par des habitats minéraux, sauf au niveau des berges, généralement abruptes, qui sont colonisées par une végétation amphibie éparse.

Des végétations de roselières (typhaie* B8 et phragmitaie* B10), plus rarement de bas-marais alcalin (B4), peuvent s'installer sur les dépôts vaseux en voie d'atterrissement* et perdurer si une lame d'eau subsiste.

Les bassins totalement atterris sont souvent colonisés par des peuplements denses de saules.

Figure 132 Roselières sur bassins d'eaux de procédés

Vaste bassin de décantation d'une carrière de grès du Nord, occupé sur sa périphérie par une typhaie (en premier plan) et une phragmitaie (au pied des éboulis).

Phragmitaie dans une ancienne fosse d'une carrière de grès des Vosges, utilisée en bassin de décantation.

Les bassins d'exhaure abritent des habitats un peu plus diversifiés. La végétation aquatique (B1 et B2) est localement dense sur les bassins rarement remaniés. La végétation amphibie reste souvent confinée aux berges abruptes.

Figure 133 Herbier à potamots sur un bassin d'exhaure

La faible profondeur du bassin (1,50 m) et l'absence de remaniement ont permis le développement d'un herbier à Potamot nageant, Potamot crépu et Myriophylle en épis. Carrière de cornéenne d'Ille-et-Vilaine.

Quatre habitats d'intérêt communautaire ont été inventoriés sur les bassins de décantations *lato sensu* (ENCEM, 2008. Tableau 42).

Tableau 42 Les formations végétales de bassins de décantation apparentées à des habitats d'intérêt communauaire

Intitulé directive Habitats		Intitulé de l'étude
3130 :	Eaux stagnantes, oligotrophes* à mésotrophes* des *Littorelletalia uniflorae* et/ou des *Isoeto-Nanojuncetea*	> Grève* oligotrophe* (B.1)
3140 :	Eaux oligo-mésotrophes* calcaires avec végétation benthique* à *Chara* spp.	> Herbier à characées* (A.1)
3150 :	Lacs eutrophes* naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*	> Herbier aquatique (A.2)
7230 :	Végétation des bas-marais neutro-alcalins	> Bas-marais alcalin (B.4)

2.2 *Flore*

Parmi les trois types de bassins permanents inventoriés en carrière, les bassins de décantation sont les plus riches avec plus de 17 espèces en moyenne par station. Mais le faible espace occupé par la végétation, le plus souvent au niveau de berges abruptes, ne permet qu'une diversité modérée : 17 % de la flore recensée sur l'ensemble des carrières et 9 % de la flore déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008).

Figure 134 Végétation de marais alcalin en bordure de bassin d'exhaure

Ce bassin d'exhaure d'une carrière de calcaire de la Charente est bordé par une ceinture étroite de plantes des marais alcalins : Marisque (Cladium mariscus) et Scirpe jonc (Scirpus holoschoenus), espèce déterminante ZNIEFF en Charente (vue de détail).

2.3 *Faune*

Les bassins de décantation semblent être les milieux aquatiques les moins attractifs des carrières pour les amphibiens et les odonates*, avec respectivement 2,2 et 5,2 espèces en moyenne par station, dont 1 et 0,6 espèce déterminante ZNIEFF (ENCEM, 2008). Ils abritent tout de même 63 % des amphibiens et 58 % des odonates inventoriés. Parmi ces derniers, deux espèces sont essentiellement associées à ce secteur d'exploitation : le Gomphe joli (*Gomphus pulchellus*) et l'Agrion à larges pattes (*Platycnemis pennipes*).

Figure 135 Agrion à larges pattes

Figure 136 Rousserolle turdoïde

Les oiseaux nicheurs sont des espèces plutôt ubiquistes* (Foulque macroule, Grèbe castagneux...) mais quelques espèces inféodées aux roselières sont notées sur les bassins d'eaux de procédés (Rousserolle effarvatte, R. turdoïde, R. verderolle, Locustelle luscinoïde...).

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 43 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des bassins de décantation

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables*
Eaux assez peu chargées en matières en suspension (MES).	**Berges abruptes,** limitant la colonisation par la végétation et l'accès au milieu aquatique pour la faune.
Faible profondeur, favorable à la végétation aquatique, voire amphibie (bassin en cours d'atterrissement).	**Variations incessantes du niveau d'eau,** provoquant des cycles répétés d'inondation et d'exondation des dépôts argileux au cours de la journée ou de la semaine.
Berges en pente douce, favorables à la végétation amphibie.	
Milieu situé sur les marges de la carrière, à proximité des milieux naturels périphériques.	

Quel est l'intérêt écologique des bassins de décantation ?

- Seul milieu aquatique au substrat meuble de la carrière capable d'abriter une roselière sur des surfaces conséquentes (bassins presque atterris) ou une végétation aquatique diversifiée (bassin d'exhaure).

3 La gestion écologique au quotidien

Planifier les interventions sur les bassins

Une grande partie des bassins de décantation (bassins d'exhaure notamment) ne nécessite qu'un curage épisodique, une fois par an, voire moins. Il est alors judicieux d'éviter de réaliser les travaux en période de reproduction et d'activité de la faune aquatique, c'est-à-dire de début février (début de la reproduction de plusieurs espèces de tritons et des grenouilles « brunes » dans le centre de la France) jusqu'à fin août.

La période habituelle de curage est celle des basses eaux (été et automne). Elle est donc globalement favorable à la faune aquatique.

Ne pas empoissonner les bassins

L'empoissonnement des bassins est à éviter si l'on souhaite favoriser la faune aquatique (mollusques, insectes, amphibiens... ; cf. § 4.2.5).

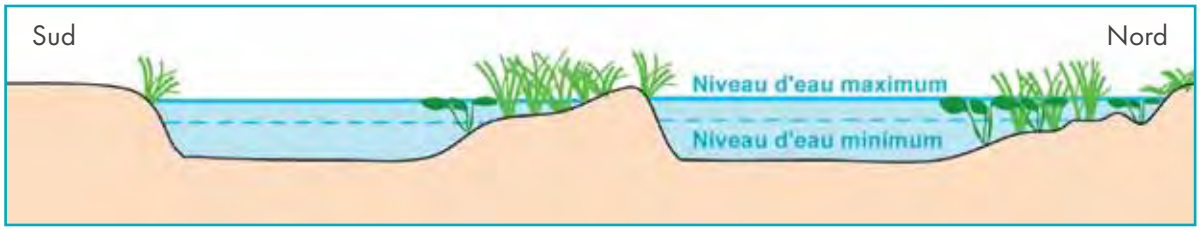
4 Les aménagements à vocation écologique

Aménager une partie des berges en pente douce

Il est possible d'augmenter fortement les potentialités d'accueil d'un bassin de décantation (lors de la création, en cours d'exploitation ou à l'arrêt de l'activité) en talutant au moins une de ses berges avec une pente douce, en particulier dans la zone de marnage* du bassin où une pente d'environ 5° permettra la création de petites ceintures de végétation (cf. § 4.3). La présence de végétaux amphibies augmente les capacités de décantation des bassins.

Dans les bassins en série destinés aux eaux de procédés, cet aménagement ne concerne que les derniers bassins, aux eaux les moins chargées en fines argileuses et dont la fréquence d'entretien est moindre.

Figure 137 Schéma d'aménagement écologique d'une série de bassins sur une carrière de Charente



Sur cette série de bassins, l'aménagement de la berge nord en pente douce va permettre de créer une vaste zone humide constituée d'une mosaïque de milieux aquatiques, amphibies et hygrophiles sur lesquels pourra se développer une plante amphibie méditerranéenne peu commune en Charente : le Scirpe jonc (Scirpus holoschoenus).*

Figure 138 Bassins en série de conception classique

Vue sur des bassins en série de conception classique, aux berges abruptes qui laisseront peu de place aux formations amphibies.

Aménager les bassins d'eaux de procédés en zones humides

Les bassins comblés de sédiments fins et conservés en l'état sont souvent colonisés par des peuplements denses et homogènes de saules dont l'intérêt biologique est faible.

Figure 139 Peuplement dense de saules sur des bassins de décantation atterris*

Saulaies denses (en premier et en second plans) ayant colonisé de vastes bassins de décantation d'une carrière de calcaire du Var.

Durant la phase d'activité de la carrière, il est possible d'aménager ces bassins en zones humides en conservant une alimentation en eau (claire ou peu chargée en matières en suspension*) et en aménageant des berges en pentes douces par apport de matériaux stériles ou, si possible, de boues provenant d'autres bassins.

L'idéal est de pouvoir maîtriser le niveau de l'eau dans le bassin par un système de vannes (cf. Dasnias Ph.{Écosphère}, 2002, p.101). Dans ces conditions, le niveau de l'eau peut être géré de la façon suivante pour favoriser l'installation puis le maintien d'une roselière (figure 140) :

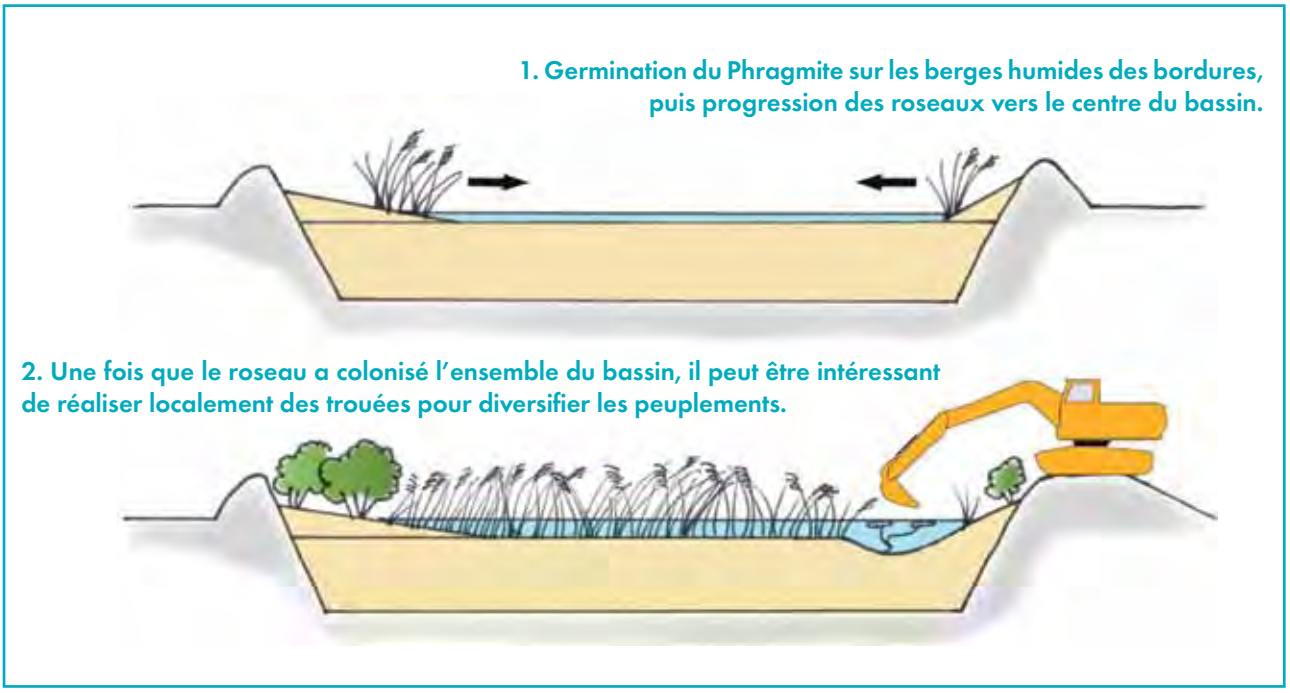
1. durant les deux ou trois premières années, un niveau d'eau maximum de 10 à 20 cm est maintenu durant le printemps et l'été pour permettre la germination des hélophytes*, notamment le Phragmite*. Les graines de ce dernier ont en effet besoin d'un sol très humide et d'une température élevée (25 à 35° C). Une lame d'eau trop importante (plus de 20 cm) gêne ou empêche la germination. Le Phragmite va donc pouvoir coloniser la zone périphérique du bassin, au niveau des talus en pente douce, puis commencer sa progression vers le centre. Durant la période hivernale, la lame d'eau peut atteindre 50 cm à 1 m ;

2. à partir de la quatrième année, une lame d'eau un peu plus importante au printemps, de 30 à 40 cm, permet au Phragmite de continuer son extension vers le centre, cette fois de façon végétative (par les rhizomes*), tout en limitant l'installation des saules. Une hauteur plus importante risque d'épuiser les rhizomes, ces derniers utilisant leurs réserves pour dépasser la lame d'eau au printemps. Cette hauteur d'eau est également favorable à de nombreux animaux et plantes aquatiques pour se développer et se reproduire. Le niveau d'eau hivernal peut être maintenu entre 0,5 m et 1 m ;

3. si les saules s'installent et deviennent envahissants, après une baisse printanière à 0,30 m pour la « sortie » des jeunes pousses, le niveau d'eau doit être maintenu à environ 1 m durant l'été, puis durant l'hiver, jusqu'à la disparition des saules ;

4. si la phragmitaie* tend à régresser, une exondation estivale peut la dynamiser en favorisant l'oxygénation du sol et l'oxydation de la matière organique qui s'est accumulée (tiges mortes). Cette exondation peut également être l'occasion de réaliser des travaux d'entretien de la roselière si le substrat* est portant (coupe des saules, enlèvement de la matière organique accumulée, fauche de la roselière).

Figure 140 Schéma de principe d'aménagement d'un bassin d'eaux de procédés en zone humide



Cet aménagement vise la constitution, par colonisation spontanée, d'une roselière homogène (peuplement dense de Phragmite accompagné de quelques autres plantes amphibies), milieu auquel sont inféodées plusieurs espèces d'oiseaux dits « paludicoles* » (Rousserolle effarvatte, Phragmite* des joncs, Bruant des roseaux, Blongios nain...). Le Phragmite peut également être implanté (cf. tableau XXII p.140 du *Guide pratique d'aménagement écologique des carrières en eau* (Dasnias Ph. - {ÉCOSPHÈRE}, 2002).

Figure 141 Trouée dans une roselière

La création de milieux plus ouverts (sans roseaux) et un peu plus profonds (50 cm au printemps) permet de diversifier la roselière et de conserver des zones en eau lors des éventuelles périodes d'exondation.

En fin d'exploitation, si l'alimentation en eau cesse, la roselière évoluera progressivement vers une saulaie. Les dépressions aménagées dans les boues de décantation peuvent être agrandies, en surface et en profondeur, pour constituer des mares temporaires (ou permanentes si la pluviométrie est suffisante).

Boiser les bassins de décantation

Il est possible de valoriser les bassins de décantation destinés à être conservés avec les fines par des boisements de production. Un chapitre du guide sur le réaménagement forestier des carrières de granulats (Vanpeene-Bruhier, 2002) est consacré à ce sujet (p. 181). Les plantations de pins (*Pinus pinaster, Pinus nigra* selon les régions) n'y sont pas mentionnées alors qu'elles semblent donner de bons résultats.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 44 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des bassins de décantation

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Planifier les interventions	x		
	Aménager une partie des berges	x	x	
Aménagements	Aménager des roselières			x
	Boiser les bassins		x	

10 - Les plans d'eau de fosse

1 Description

Des plans d'eau se forment dans les fosses des carrières de roches éruptives et parfois calcaires, dans deux situations un peu différentes :

- sur les sites ou parties de sites en sommeil, les fosses inexploitées restent parfois semi-ennoyées, un pompage assurant l'exondation de la partie encore en activité (figure 142) ;
- sur les sites définitivement arrêtés, l'arrêt du pompage provoque l'ennoiement progressif de la fosse. Le remplissage peut être rapide (moins de cinq ans) si les arrivées d'eaux souterraines sont importantes (en roche calcaire notamment) mais il est souvent assez lent (10 à 20 ans) car surtout lié aux apports météoriques. Le niveau d'eau se stabilise, soit par un trop-plein dans le milieu naturel, soit par infiltration dans le gisement (roches calcaires), soit enfin par équilibre entre apports météoriques et évaporation.

Les plans d'eau de fosse sont caractérisés par une profondeur importante (plusieurs dizaines de mètres) et sont souvent encadrés par les parois subverticales des fronts de taille. Les surfaces sont variables : de 1 ou 2 ha à plusieurs dizaines d'hectares.

Figure 142 Plans d'eau de fosse

Plans d'eau de fosse de carrières de roches éruptives en exploitation du Massif armoricain. Le niveau de l'eau est maintenu par pompage.

Tableau 45 Enjeux environnementaux et de sécurité liés aux plans d'eau de fosse

	Protection des personnes	Protection du paysage	Protection de l'eau	Protection sonore
Enjeu faible				
Enjeu moyen				
Enjeu fort				

Les fosses en eau constituent un certain danger pour le personnel et pour le public (risque de noyade), essentiellement lorsqu'elles sont encadrées de fronts subverticaux. À l'opposé, elles peuvent participer à la sécurisation de la fosse en limitant la dangerosité d'une chute. En cours d'exploitation, elles participent au traitement des eaux, au même titre qu'un bassin de fond de fosse. Enfin, après exploitation, elles atténuent l'impact paysager des carrières en limitant, voire supprimant, l'effet de fosse.

2 Intérêt écologique

2.1 Habitats naturels

Du fait de leur accessibilité réduite, les habitats des plans d'eau de fosse sont mal connus. L'élément aquatique est ici largement dominant mais les formations aquatiques et amphibies occupent des surfaces très réduites, localisées aux quelques zones de faible profondeur : descenderie (ancienne piste d'accès à la fosse) et banquette subaffleurante. Des herbiers aquatiques (A2) sont notés (dont un habitat d'intérêt communautaire) ainsi que des typhaies* (B8) et des saulaies (F1).

Figure 143 Habitat aquatique de plan d'eau de fosse

Sur cette piste ennoyée d'une carrière de grès de la Sarthe se développe très localement un herbier à Potamot nageant (Potamogeton natans) et Renoncule peltée (Ranunculus peltatus. Vue de droite).

2.2 Flore

Les données disponibles sont insuffisantes pour dresser un bilan, même partiel, de la diversité floristique des plans d'eau de fosse. Il est probable que l'on retrouve sur les zones de faible profondeur une flore similaire à celle des bassins permanents, les conditions abiotiques* étant comparables. Parmi les espèces sensibles répertoriées, on peut citer le Potamot fluet (*Potamogeton pusillus*), plante observée sur une carrière de porphyre de la Mayenne et figurant sur la liste rouge des espèces menacées en Pays de la Loire.

2.3 Faune

2.3.1 Invertébrés

Les quelques relevés qui ont pu être réalisés sur des zones peu profondes ont permis de recenser 55 % des espèces d'odonates* inventoriées (ENCEM, 2008), avec une diversité moyenne par station proche de celle des bassins permanents (près de 7 espèces). Par contre, le faible nombre d'espèces déterminantes par station (0,5 en moyenne) montre qu'il s'agit surtout d'espèces ubiquistes*. On peut cependant mentionner la présence inhabituelle d'une importante population de Cordulie à corps fin (*Oxygastra curtisii*) sur la bordure ombragée d'un plan d'eau de fosse d'une carrière de granite de Haute-Vienne. Cette espèce protégée ne se reproduit en effet que très rarement dans les eaux stagnantes. Il semble qu'elle ait trouvé dans ce plan d'eau aux eaux oligotrophes* un habitat secondaire, l'habitat principal restant la rivière proche.

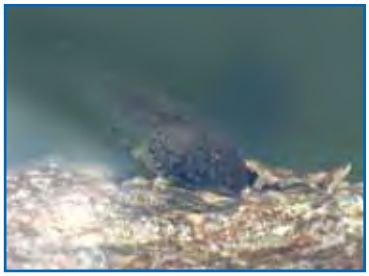
Figure 144 Cordulie à corps fin

2.3.2 *Vertébrés*

Quelques **oiseaux** ubiquistes* comme le Canard colvert, la Gallinule poule d'eau, la Foulque macroule ou encore le Grèbe castagneux arrivent à se reproduire dans les rares formations amphibies des plans d'eau de fosse (ENCEM, 2008).

L'intérêt des grands plans d'eau pour **l'avifaune* hivernante ou en halte migratoire** n'est pas connu. Des rassemblements de plusieurs dizaines d'individus (Canard colvert notamment) sont fréquents. Il semble cependant que la faible distance d'envol, liée au caractère encaissé du plan d'eau, ne réponde pas aux besoins de sécurité de la majorité des espèces. La grande profondeur empêche par ailleurs la fréquentation par les canards plongeurs.

Les **amphibiens** sont bien présents dans les plans d'eau de fosse puisque ceux-ci abritent 56 % des espèces observées et près de 4 espèces en moyenne par station (dont 2 déterminantes). Les espèces pionnières* (Crapaud calamite, Pélodyte ponctué et Sonneur à ventre jaune), souvent rares à l'échelon national ou régional, évitent logiquement ce secteur de l'exploitation qui est plutôt colonisé par des espèces assez ubiquistes* : Grenouille verte, Rainette verte, Crapaud commun, Alyte accoucheur...



Accouplement de Crapaud commun et têtard d'Alyte accoucheur. Les têtards de ces deux espèces présentent la particularité de secréter des toxines, ce qui leur permet de pouvoir se développer dans des milieux empoissonnés. Cette caractéristique explique peut-être leur bonne représentation relative dans les plans d'eau de fosse, souvent riches en poissons.

Figure 145 Vertébrés de plans d'eau de fosse

Fuligule morillon sur un plan d'eau de fosse d'une carrière de calcaire dolomitique de Mayenne. Cette espèce est potentiellement nicheuse sur ce site.

2.4 *Facteurs favorables et limitants*

Tableau 46 Facteurs favorisant et limitant la diversité écologique des plans d'eau de fosse

Facteurs favorables pour la faune et la flore	Facteurs défavorables
Présence de zones à faible profondeur d'eau. **Eaux à pH neutre ou basique.**	**Les principales caractéristiques de ce secteur d'exploitation :** grande profondeur, berges subverticales, encaissement du plan d'eau. **Variations importantes et imprévues** du niveau de l'eau liées à un pompage irrégulier.

Quel est l'intérêt écologique des plans d'eau de fosse ?

- L'intérêt écologique des plans d'eau de fosse est proportionnel à la surface qui peut être aménagée en zone humide.

3 La gestion écologique au quotidien

Gérer le niveau d'eau

Dans les fosses semi-immergées dont le niveau d'eau dépend d'un pompage d'exhaure*, il peut être aisé de veiller à ce que ce niveau se stabilise en période printanière à 10 ou 20 cm au-dessus de la cote moyenne d'une banquette. Avec l'évaporation estivale, la banquette se trouve exondée en fin d'été, ce qui permet de reconstituer les conditions hydriques* d'une berge de lac naturel.

À cette maîtrise du niveau de l'eau peut être associé le déversement de matériaux stériles sur la banquette, de façon à augmenter le gradient hydrique* (cf. *infra*). Cette technique présente en outre l'avantage de faciliter la colonisation de la banquette par la végétation.

Figure 146 Banquette immergée

Au premier plan de ce plan d'eau, dont le niveau est maintenu par pompage, apparaît une banquette subaffleurante sur laquelle se sont développées quelques touffes de plantes. La lame d'eau relativement épaisse ne semble cependant pas favorable à un développement de la végétation amphibie.

4 Les aménagements à vocation écologique

Aménager des banquettes subaffleurantes lors de la remise en état

Figure 147 Banquette subaffleurante

Sept espèces d'odonates et trois espèces d'orthoptères* se reproduisent sur cette banquette subaffleurante d'une carrière de granite de la Haute-Vienne, dont une espèce protégée (Cordulie à corps fin) et une espèce déterminante ZNIEFF (Grillon des marais). La Loutre d'Europe s'alimente dans ce plan d'eau. La banquette, vue ici au printemps, est presque exondée en fin d'été. Le niveau d'eau est régulé par un trop-plein vers la rivière bordant le site.*

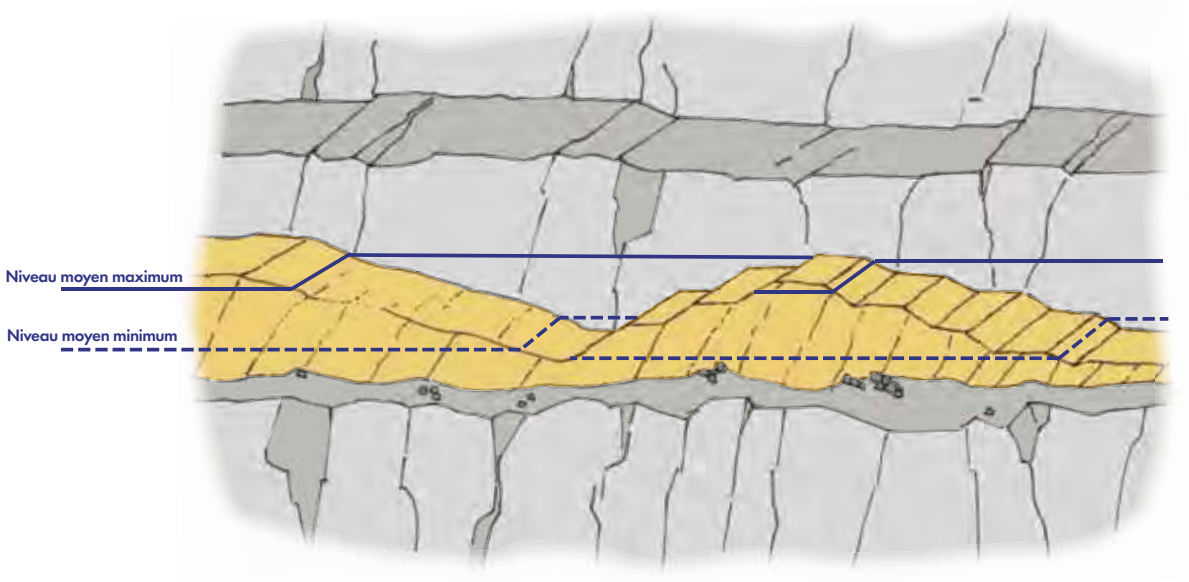
La gestion des banquettes est la méthode la plus simple pour valoriser les plans d'eau de fosse lors de la remise en état, à condition d'avoir une bonne connaissance du niveau d'eau final. Deux techniques peuvent être mises en œuvre :

- adapter le niveau du trop-plein à celui de la banquette à aménager s'il est probable que le niveau de l'eau atteindra le trop-plein ;

- adapter le niveau final de la banquette à celui du niveau d'eau prévisible. Cet aménagement peut être réalisé sur la totalité ou une partie de la banquette, soit en descendant celle-ci à une cote définie lors du dernier tir, soit par remblaiement avec des matériaux stériles jusqu'au niveau d'eau prévisible (figure 148). Cette dernière technique présente l'avantage de pouvoir faire varier facilement les cotes topographiques des remblais et permet une colonisation plus facile par la végétation.

Ces aménagements doivent bien sûr être anticipés, les interventions sur les banquettes ne pouvant être réalisées que lorsqu'elles sont accessibles par les engins. La valorisation du plan d'eau sera d'autant plus importante que la ou les banquettes aménagées couvriront une surface importante. Une largeur minimale de banquette de 4 m est recommandée.

Figure 148 Principe d'aménagement d'une banquette subaffleurante à l'aide de matériaux stériles



Bien souvent, le niveau moyen du futur plan d'eau est estimé avec une précision de plusieurs mètres, représentée sur le schéma par un niveau moyen maximal et un niveau moyen minimal. La mise en place de matériaux stériles à des niveaux topographiques variables, avec des pentes douces ou des gradins, permet de valoriser la banquette en zone humide, quel que soit le niveau final du plan d'eau.

Remblayer partiellement la fosse

Lorsqu'il est possible, le remblaiement partiel de la fosse par des matériaux stériles ou des matériaux inertes est une opportunité pour la mise en place de zones humides sur des surfaces qui peuvent être conséquentes (plusieurs hectares). Le principe est simple : il consiste à déposer les remblais jusqu'à une cote proche de celle du niveau d'eau final pour créer une zone qui possédera un fort gradient hydrique*. La pratique est plus complexe car le niveau moyen et le marnage* du futur plan d'eau sont rarement prévisibles avec précision. Il faudrait donc pouvoir agir en deux temps : déposer les remblais jusqu'à une cote légèrement supérieure à celle du plan d'eau puis, une fois le niveau d'eau stabilisé et le marnage connu, taluter finement les remblais en période d'étiage*. Cette seconde phase de travaux est rarement réalisable puisqu'elle doit être mise en œuvre plusieurs années après la fin de l'activité du site.

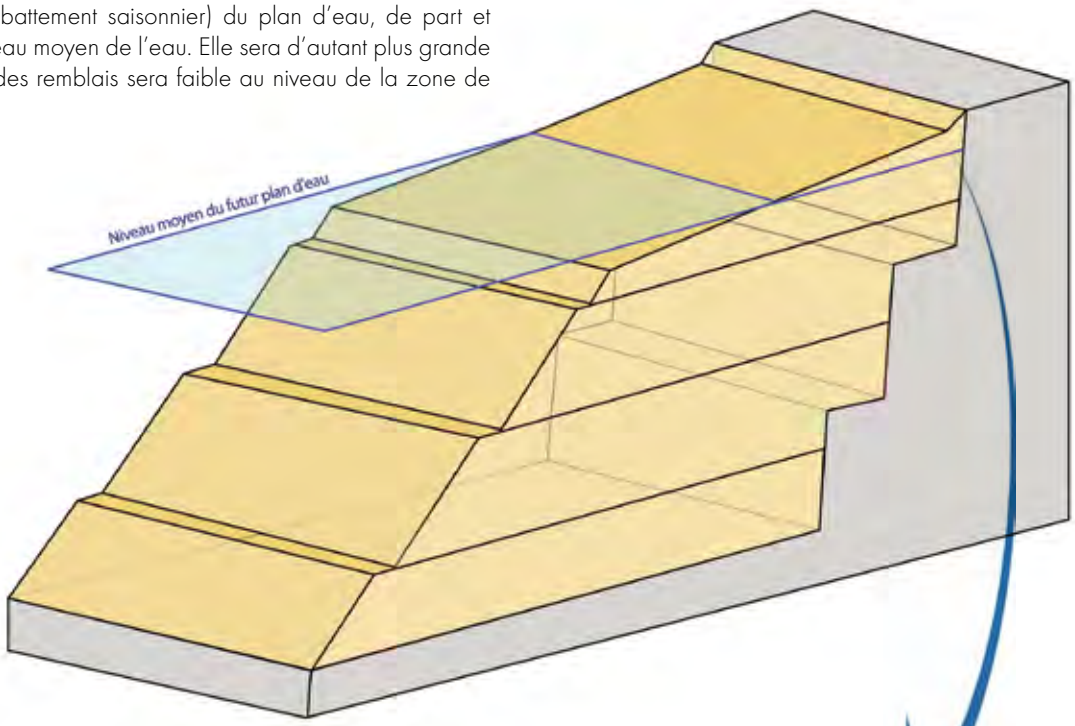
Les modalités d'aménagement dépendent du mode de mise en remblais :

- lorsque les remblais sont déposés par strates horizontales sur le carreau, l'aménagement consiste simplement à cesser le remblaiement lorsque la cote prévisible du futur plan d'eau est atteinte, puis à réaliser des travaux de terrassement en fonction des objectifs d'aménagement de la zone humide (zones de haut-fond et dépressions ; cf. figure 149). S'il s'agit de remblais de matériaux inertes, il faut prévoir de les recouvrir avec des matériaux stériles sur une épaisseur de plusieurs mètres pour réaliser les travaux de terrassement et permettre une bonne colonisation par la végétation ;

- en cas de remblais déversés depuis le haut d'un front, l'aménagement n'est réalisable que si le niveau de déversement se situe à une cote proche de celle du niveau prévisible du plan d'eau (figure 150). Lorsque la mise en remblai est terminée ou que la surface subhorizontale du dépôt est suffisante, les travaux d'aménagement de la zone humide consistent, de la même façon, à créer des variations topographiques permettant la mise en place d'un fort gradient hydrique.

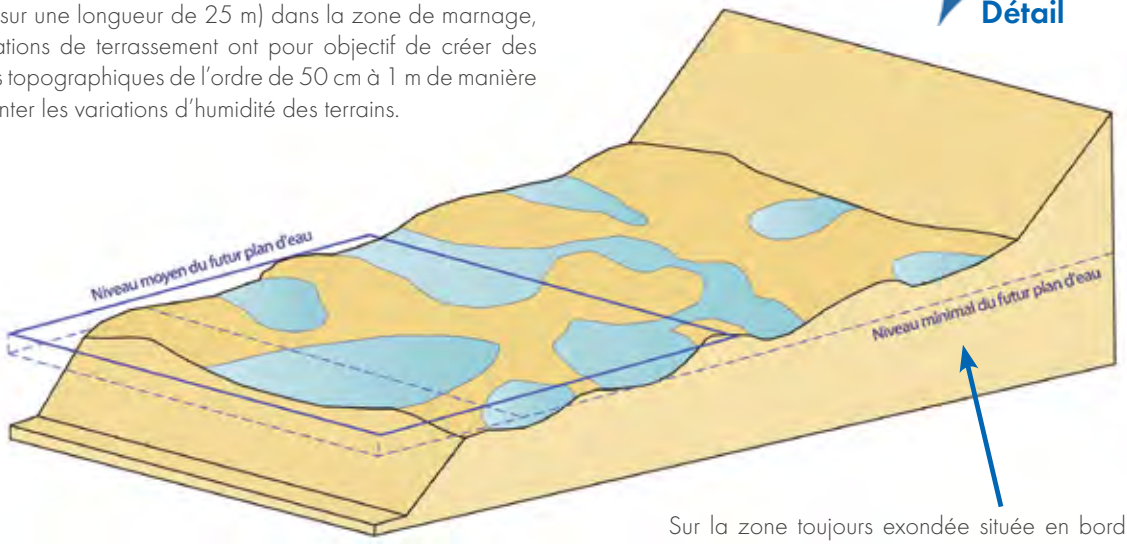
Figure 149 Principe d'aménagement de remblais déposés en fond de fosse

Coupe schématique dans un remblai (matériaux stériles ou déchets inertes) formé par accumulation de strates dans la fosse. La zone humide va s'installer spontanément dans la zone de marnage (battement saisonnier) du plan d'eau, de part et d'autre du niveau moyen de l'eau. Elle sera d'autant plus grande que la pente des remblais sera faible au niveau de la zone de marnage.



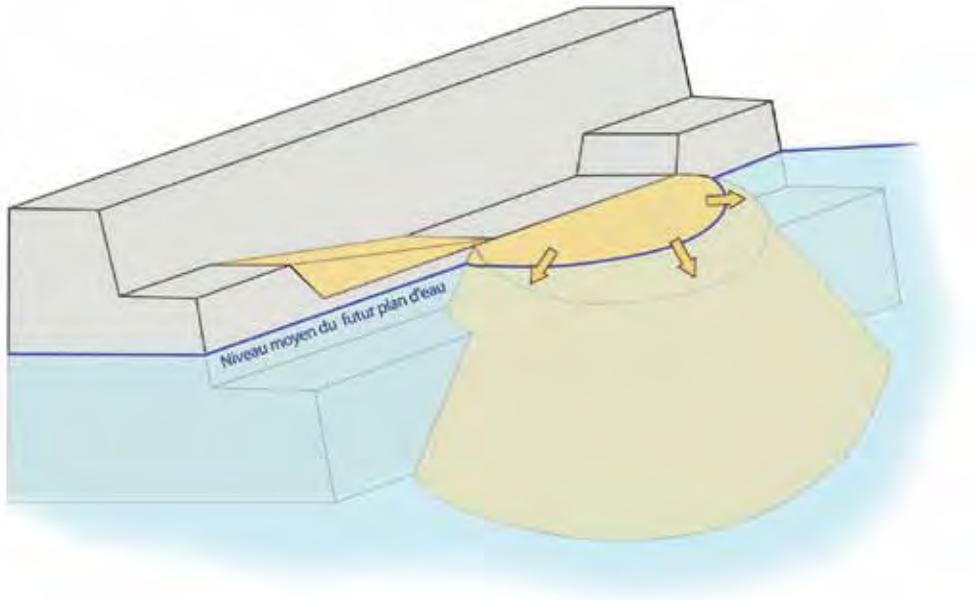
L'aménagement de la zone humide est réalisé sur des matériaux stériles si le remblai est constitué de déchets inertes. Outre la mise en place d'une pente douce, de l'ordre de 2 à 3° (1 m de dénivelé sur une longueur de 25 m) dans la zone de marnage, les opérations de terrassement ont pour objectif de créer des variations topographiques de l'ordre de 50 cm à 1 m de manière à augmenter les variations d'humidité des terrains.

Détail



Sur la zone toujours exondée située en bordure du plan d'eau, l'aménagement de dépressions permet de constituer des mares temporaires, éventuellement permanentes, qui restent déconnectées du plan d'eau et à l'abri des poissons qui coloniseront probablement ce dernier.

Figure 150 Principe d'aménagement de remblais déversés depuis les fronts



Dans ce type de remblaiement, il est préférable que le niveau de versement des remblais soit proche du niveau moyen prévisible du futur plan d'eau, pour éviter des opérations de reprise des matériaux. D'où la nécessité d'aménager éventuellement une banquette à un niveau topographique adéquat. Le principe d'aménagement de la zone humide est identique à celui des remblais déposés en strates, à savoir une pente douce et des variations topographiques dans la zone de marnage* du plan d'eau.

Mettre en place des radeaux à sternes

Ce type d'aménagement artificiel est mis en place sur certaines gravières qui ne possèdent pas d'îlots sableux mais dont les potentialités d'accueil de la Sterne pierregarin sont bonnes. Les résultats sont tout à fait satisfaisants.

À notre connaissance, aucune expérience n'a été menée sur des plans d'eau de carrière de roches massives, généralement trop profonds pour l'ancrage du radeau et/ou trop encaissés pour convenir à l'espèce. Il existe cependant des plans d'eau de fosse peu profonds, de physionomie comparable à celle d'un plan d'eau de gravière et dans des contextes géographiques favorables, sur lesquels ce type d'aménagement pourrait être réalisé.

Figure 151 Plan d'eau de fosse peu profond d'une carrière de calcaire de Gironde

Figure 152 Radeaux à sternes

Radeaux occupés par la Sterne pierregarin (Sterna hirundo), sur un plan d'eau de gravière du Maine-et-Loire.

Les radeaux de 70 m² sont constitués de blocs de polystyrène compressé recouverts de sable.

Les radeaux installés en 2004 hébergeaient 40 couples en 2005, soit l'une des plus importantes colonies de Basse-Loire.

(Source : CPIE Loire et Mauges, 2007)

Aménagements complémentaires : créer des zones refuges pour les espèces issues du fond de fosse

Le remplissage de la fosse entraîne la disparition des milieux naturels et des espèces pionnières* qui les ont colonisés. Il peut être utile d'anticiper et de compenser ce phénomène par la création de milieux « refuges » pour une partie des espèces concernées, par exemple par la création de mares ou de bassins sur les terrains restant exondés après ennoiement (banquettes supérieures par exemple).

Il est même envisageable, sur les conseils d'un naturaliste, de transférer des individus (semences, boutures, plants...) des milieux devant disparaître dans les zones aménagées (le transfert d'individus d'espèces animales et végétales protégées nécessite une autorisation préfectorale).

Conserver un pompage d'exhaure* après exploitation ?

Dans le contexte actuel de réduction de la consommation d'énergie et de protection globale de l'environnement (réchauffement climatique), le maintien d'un pompage d'exhaure sur le long terme n'est pas envisageable. Il ne peut s'agir que d'une mesure provisoire (deux ou trois ans), destinée par exemple à permettre le transfert de biocénoses* installées en fond de fosse vers des milieux récepteurs aménagés en périphérie.

5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements

Tableau 47 Évaluation du coût des opérations de gestion et d'aménagement des plans d'eau de fosse

		COÛT FAIBLE	COÛT MOYEN	COÛT ÉLEVÉ
Gestion	Niveau d'eau	X		
Aménagements	Aménager des banquettes subaffleurantes		X Si réalisé dans le cadre de la gestion des remblais	X Si aménagement spécifique
	Remblayer partiellement la fosse	X Si réalisé dans le cadre de la gestion des remblais	X	X Si aménagement spécifique
	Créer des variations topographiques sur les remblais		X Si réalisé dans le cadre de la gestion des remblais	X Si aménagement spécifique

> *Conclusion*
> *Remerciements*
> *Crédits photographiques*
> *Références bibliographiques*
> *Sigles et acronymes*
> *Glossaire*
> *Table des matières*

Conclusion

Appréhender une carrière de roches massives, qui plus est en activité, comme un milieu naturel à gérer et à aménager peut paraître surprenant. La réalité est pourtant bien là, même si elle ne concerne encore qu'une part restreinte de sites : seuls ou en partenariat avec des structures naturalistes locales, des exploitants de carrières tentent de concilier l'activité normale de production de l'exploitation avec le maintien d'espèces et d'habitats naturels particuliers.

En initiant de nouvelles dynamiques biologiques sur des substrats minéraux diversement remaniés, le carrier fait du génie écologique sans le savoir. En fonction de leur pente, de leur compaction, de leur exposition..., ces substrats constituent les supports d'autant d'habitats naturels distincts qui vont être colonisés progressivement, puis parfois être rajeunis brutalement, en fonction des besoins de la carrière.

Nombre d'exploitants n'ont pas conscience de la vie présente sur leur site, notamment parce ce que les stades pionniers sont souvent discrets et bien différents de la nature à laquelle nous sommes habitués dans les forêts, au bord de la mer ou même en montagne. Le premier intérêt de ce guide est de montrer au personnel des carrières cette diversité d'habitats et d'espèces, même en l'absence de toute gestion et de tout aménagement à vocation écologique.

Les naturalistes, qu'ils soient universitaires, membres d'associations ou simples curieux de nature, connaissent par contre depuis longtemps l'intérêt écologique de ces milieux neufs. Certains ont engagé des partenariats avec des exploitants pour mener des actions spécifiques de suivis et d'aménagements. Le second objectif du guide est d'illustrer quelques-uns de ces partenariats dont le nombre a fortement progressé ces dernières années. Ils sont l'occasion d'échanges fructueux, chacun tirant profit des connaissances de l'autre : d'une part, la diversité du vivant dans un milieu en apparence stérile, d'autre part la maîtrise de la gestion d'un site industriel et des travaux permettant la création d'habitats naturels.

Le troisième et principal objet du guide est de fournir aux exploitants des conseils pour valoriser les potentialités écologiques de leurs sites, c'est-à-dire favoriser les habitats et espèces propres aux milieux minéraux. Les préconisations qu'il contient ne sont donc pas destinées à un simple « verdissement » de la roche, ce qui est plutôt du ressort des travaux paysagers, mais bien à gérer et à aménager un écosystème particulier, où les conditions écologiques sont souvent contraignantes et contrastées.

Ces préconisations résultent pour la plupart de l'observation de milieux naturels créés involontairement sur les carrières et ne sont que la transposition de principes bien connus dans le domaine de l'ingénierie écologique : favoriser les habitats de transition (écotones*), les habitats complémentaires (cycle biologique*), les axes préférentiels de déplacement (corridors*), les zones de rupture (perturbations*), etc.

La mise en œuvre de ces principes garantira à coup sûr un accroissement de la biodiversité, avec des résultats qui seront certes variables selon les sites mais toujours globalement intéressants.

Si l'objectif de l'aménagement est plus précis, vise la mise en place d'un habitat spécifique, voire la colonisation par une espèce particulière, la démarche sera un peu plus complexe. Il faudra en effet essayer de créer les conditions physiques favorables à l'habitat ou à l'espèce, avec l'aide d'un expert en écologie.

L'exploitation d'une carrière de roches massives présente un avantage pour mener à bien une telle démarche : elle s'inscrit dans une durée relativement importante, de plusieurs décennies, qui permet de laisser la nature œuvrer et d'ajuster si besoin les aménagements, à une ou même plusieurs reprises. Cette notion de temps est favorable à un véritable travail de génie écologique.

Les contraintes réglementaires sur les espèces protégées risquent cependant de limiter fortement les initiatives en faveur de la biodiversité si elles ne tiennent pas compte des spécificités des exploitations de carrières en termes de dynamique des populations pionnières qui les colonisent.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont apporté leur contribution à la réalisation de ce guide.

Nos remerciements vont d'abord aux exploitants de carrières qui nous ont ouvert leur site à l'occasion des inventaires et qui nous ont reçus lors de la préparation du guide.

Pour ce qui concerne la rédaction du document, nous remercions Claude BAILLARGEAU (directeur d'exploitation de la société CALCIA), Claude PIONNEAU (directeur d'exploitation de la SA ROY) et Guy TOUCHARD (directeur développement de la société Carrières du Boulonnais) qui ont accepté de valider la faisabilité technique et financière des aménagements, Christophe VANNIER (ENCEM) qui a rédigé le chapitre sur la remise en état (réglementation), Gérard MAUSSION (UNICEM) qui a corrigé le texte sur la réglementation, Bruno de FOUCAULT pour sa relecture particulièrement attentive de l'ensemble du document et Christel ROGER (ENCEM) qui a rédigé le glossaire et la bibliographie.

Nous remercions également les membres du comité de pilotage (cf. composition page 5) pour leurs remarques qui ont contribué à l'amélioration du document ainsi que pour leur confiance et leur soutien véritable au fil des différents avant-projets.

Merci enfin à toutes les personnes qui, de façon ponctuelle ou régulière, nous ont fourni des données pour rédiger et illustrer ce document :

Joseph	ABEL	LPO Côte-d'Or
Pierre	ANRYS	Serco Engineering
Jean-Pierre	BACCHIOLELLI	Someca
Claude	BAILLARGEAU	Ciments Calcia
Bernard	BOURGUE	Lafarge Granulats
Florence	BRAU	ENCEM
Christian	BULLE	Groupe Pèlerin Jura
Catherine	CHAMBOULEYRON	Lafarge Granulats
Dominique	CHAGNEAU	
François	CHAMBAUD	CAEI
Christophe	CHAMBOLLE	
Nicolas	COTREL	Deux-Sèvres Nature Environnement
Cédric	de COLLASSON	Lafarge Granulats
Vincent	de MEDWECKI	ENCEM
Julien	DECAUX	Cemex
Olivier	DURAND	CPIE Loire et Mauges
Jean-Paul	DURAND	ENCEM
Elisabeth	EVRARD	ENCEM
Johan	GOURVIL	ENCEM
Xavier	GREMILLET	Groupe Mammalogique Breton
Thierry	HAUCHARD	GSM
Franck	HERBRECHT	Ouest Am'
Bertrand	JARRI	Mayenne Nature Environnement
Laurent	JOLY	AOMSL
Jean-Christophe	KOVACS	Ecosphère
Guy	LABIDOIRE	CREN Limousin
Yves	LACOT	SAS Cerf
Alain	LADET	FRAPNA
Thierry	LECOMTE	PNR des Boucles de la Seine normande
Patrick	LEGRAND	Institut d'écologie appliquée (IEA)
Hélène	LEJEUNE	ENCEM
Pascal	MAUFFREY	ENCEM
Pascal	MAUREL	ENCEM
Thierry	MERLE	ENCEM

Samy	MEZANI	AOMSL
Ivan	MOURER	ENCEM
Céline	PADIAL	ENCEM
Michel	PAJARD	Ecosphère
Mickaël	PINEAU	Kléber Moreau
Annie	REMACLE	Direction de la Nature/Université de Gembloux/Belgique
Olivier	ROUSSEAU	ENCEM
Rémi	SARDAT	Lafarge Granulats
Vincent	SENECHAL	Sciences Environnement
Julien	VIGLIONE	Ecomed
Emmanuel	VOCHELET	CREN Haute-Normandie

Crédits photographiques

Crédits par numéro de page

Joseph	ABEL	LPO Côte-d'Or	146 bas.
Matthias	ARBION	ENCEM	27 haut droite.
	AVEN DU GRAND-VOYEUX		195.
	BIOTOPE		119 bas droite.
Emmanuel	BOITIER	SHNAO	Couverture gauche, 173 haut.
B.	BOUSQUET	IMERYS	Couverture haut, 105 bas, 119 haut.
Christian	BULLE	Groupe Pèlerin Jura	140 haut, 145.
	CERA-Environnement		138, 172 droite, 182 haut droite, 191 bas gauche.
Dominique	CHAGNEAU		112 bas, 153 haut gauche.
Christophe	CHAMBOLLE		199 centre, 203.
Cédric	de COLLASSON	Lafarge Granulats	99.
	CPIE Loire et Mauges		Couverture bas, 51 gauche, 57 haut, 135, 175, 204.
	CREN Limousin		81, 82.
	Deux-Sèvres Nature Environnement		83, 105 haut, 172 gauche.
Jean-Paul	DURAND	ENCEM	24 Mayenne.
	ECO-MED		29 bas, 51 droite, 171.
	ECOSPHÈRE		91, 93, 94, 100.
	ENCEM		24 haut, 161 haut gauche, 181 bas gauche, 185, 186 haut, 197 droite.
Yann	FÉVRIER	ENCEM	Couverture centre, 55 haut gauche, 76, 103 droite et bas, 115, 117 fig.56, 122 haut gauche, 124 bas droite, 129 bas, 131, 133, 144 bas, 147 haut, 150 bas, 153 haut droite, 157, 162 gauche, 173 centre sauf droite, 181 bas droite, 183 bas, 186 bas, 189 gauche, 192, 194.
Philippe	FOUILLET		27 haut gauche, 68 haut, 109 haut droite, 113, 137 haut, 149 bas, 169 droite, 189 haut droite, 200 haut.
Johan	GOURVIL	ENCEM	9, 68 bas, 140 bas, 151, 177 bas, 190 haut.
Alban	GILBERT		87.
	GIRARD ET FOSSEZ		108, 129 haut.
Xavier	GREMILLET	GMB	149 haut et centre.
Franck	HERBRECHT	Ouest Am'	27 bas, 71 bas, 103 haut gauche, 111 droite, 162 droite, 163, 181 haut, 191 haut, 198 haute gauche et bas, 200 bas.
	IEA		174 droite.
Pierre	MAIGRE	LPO Lang.-Roussillon	140 centre.
Willy	MAILLARD		112 haut.
Pascal	MAUFFREY	ENCEM	119 bas gauche.
Pascal	MAUREL	ENCEM	183 haut droite.
Vincent	de MEDWECKI	ENCEM	26 bas gauche, 111 bas.
Cécile	MESNAGE	Ouest Am'	111 haut gauche, 130 haut gauche, 155 gauche, 176, 183 haut gauche, haut droite.
Ivan	MOURER	ENCEM	57 haut, 71 haut et centre, 88 n°6, 146 haut, 148, 161 haut droite, 164 haut, 174 gauche.
Olivier	ROUSSEAU	ENCEM	181 droite centre, 182 haut gauche.

Vincent	SENECHAL	Sciences Environnement	116, 127.
	SHNAO		55 haut droite, 109 haut gauche, 121 bas droite, 169 droite, 173 centre droite, 190 bas, 199 droite.
	TARMAC Granulats		24 bas, 26 haut, 144 haut.
Christophe	VANNIER	ENCEM	34, 121 gauche.
Didier	VOELTZEL	ENCEM	17, 21, 24 centre, 26 bas droite, 28, 29 haut, 38, 39, 43, 54, 55 bas droite, 57 bas, 59, 64, 67 centre et bas, 78, 80, 84, 88 sauf n°6, 96, 97, 101, 102, 104, 109 bas, 110, 114, 117 bas, 120, 122 haut droite et bas, 123, 124 haut et gauche, 125, 128, 130 haut droite et bas, 134, 137 bas, 139, 141, 147 centre et bas, 150 haut, 152, 153 bas, 155 droite, 156, 159, 161 bas, 164 bas, 173 bas, 177 haut, 182 bas, 184 haut, 189 bas droite, 191 bas droite, 193, 197 gauche, 199 gauche, 205.
Vincent	VOELTZEL		55 bas gauche, 77.

Références bibliographiques

Aboucaya A., 1999. Premier bilan d'une enquête nationale destinée à identifier les xéonophytes invasifs sur le territoire métropolitain français (Corse comprise). Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest. NS, n° spécial 19 (1999). Actes du colloque de Brest 15-17 octobre 1997 (les plantes menacées de France) : 463-482.

Adam P., Debiais N., Gerber F. et Lachat Bernard., 2008. Le génie végétal. La Documentation Française, 290 p.

Albouy V., 2008. La Petite Tortue est-elle en train de disparaître de Poitou-Charentes ? Insectes, n° 148, pp 19-21.

ALLICOM, 1993. Aménagement de sites. Aménager et gérer des sites naturels remarquables. L'Atelier technique des espaces naturels, 68 p.

AREHN, 1998. Vivre avec les carrières : de l'exploitation au réaménagement. AREHN, 33 p.

Association Française des Ingénieurs Écologues., 1993. Les Pratiques du Génie écologique. L'aménagement et la réhabilitation écologique des carrières sèches, 164 p.

Bardat J., Bioret F., Botineau M., Boullet V., Delpech R. Géhu J-M., Haury J., Lacoste A., Rameau J., Royer J-M., Roux G. et Touffet J., 2004. Prodrome des végétations de France. Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 171 p. (Patrimoine naturels, 61).

Bissardon M., Guibal L. et Rameau J-C., 1997. Corine biotopes, types d'habitats français, ENGREF-ATEN, 175 p.

Blondel J. et Badan O., 1976. La biologie du Hibou grand-duc en Provence. Nos oiseaux 33 : 189-219.

BRGM, 1999. Note technique sur la remise en état des carrières en Languedoc-Roussillon. Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, 37 p.

Bruhier S., 1992. Méthodologie de réaménagement des carrières. ENGREF, 51 p + annexes

Bruneau E. 1997. Dynamique de la recolonisation végétale des carrières sèches abandonnées. Laboratoire d'écologie. Université de Bourgogne. Rapport de stage 38 p + annexes.

Burel F. et Baudry J., 1999. Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications Paris, TEC & DOC, 362 p.

Cade T.J., 1960. Ecology of the Peregrine and Gyrfalcon populations in Alaska. Univ. Calif. Publ. Zool. 63 : 151-290.

Castana N., 1995. Le réaménagement des carrières : aspects techniques et financiers, suivi des opérations. Rapport de stage. 62 p + annexes.

CEMEX, 2008. Fonder nos ambitions. Politique de développement durable. CEMEX, 23 p.

Centre de la Sécurité et des Techniques Routières du SETRA / Direction Nature et Paysage du Ministère de l'Environnement, 1994. La végétalisation. La végétation, outil d'aménagement. Guide technique. 111 p.

CN Charte – UNPG, 1998. Paysage et aménagement de carrières. UNPG, 90 p.

Colas S., Hébert M. et al., 2000. Guide d'estimation des coûts de gestion des milieux naturels ouverts. Espaces Naturels de France, programme Life-Environnement « Coûts de gestion », 136 p.

Collette J., 2003. Les oiseaux sauvages des carrières de Normandie. Les éditions du Cormoran, 60 p.

Conservatoire botanique national de Brest, 2009. ERICA Bulletin de botanique armoricaine. N° 22. 149 p.

Conservatoire botanique pyrénéen, 2000. Revégétalisation en montagne pyrénéenne. Document de travail. 26 p.

Conservatoire de l'Espace Littoral et des rivages lacustres, 1987. Mémento technique. Association Loisirs Formation Animation.

Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2003. Recueil sur la renaturation d'espaces. 208 p.

Cora, LPO Haute-Savoie, LPO Loire. 2005. Une carrière, des hommes, des oiseaux. Les oiseaux des carrières de roches massives en Rhône-Alpes. Inventaire 2004/2005. Unicem Rhône-Alpes, 36 p.

Cora, LPO Haute-Savoie, LPO Loire. 2005. Une carrière, des hommes, des oiseaux. Guide méthodologique pour des pratiques respectueuses du patrimoine naturel dans les carrières de roches massives. Unicem Rhône-Alpes, 21 p + fiches techniques.

Cora, LPO Haute-Savoie, LPO Loire. 2008. Une gravière, des hommes, des oiseaux. Des bonnes pratiques pour une cohabitation harmonieuse. Unicem Rhône-Alpes, plaquette.

Coumoul H. et Mineau H., 2002. Jardins de l'autoroute. Histoire de graines, d'herbes et de rocailles. Actes Sud, 188 p.

CPIE Bresse du Jura Franche-Comté. 1999. Suivis écologiques et gestion de la Zone Écologique et Éducative de la carrière de Desnes (39)., 27 p.

CPIE Loire et Mauges. 2007. Carrières de roche massive, sablières, argilières des Mauges et biodiversité. Expérimentation 2002-2006, 94 p.

Dasnias P. (ÉCOSPHÈRE), 2002. Aménagement écologique des carrières en eau : Guide pratique. Ecosphère, Charte UNPG, Paris, 206 p.

Defontaines P., 2002. Suivi sur 20 ans d'une population de Grands-ducs d'Europe *Bubo bubo* en Languedoc. Alauda 70 : 15-22.

Desfossez P. et Sauvage P., 1991. Réserve naturelle du platier d'Oye. Plan de conservation. 80 p.

Devaux D., 1996. La remise en état des carrières de roches massives. Mines et Carrières, 5 p.

DRIRE Poitou-Charentes, 2005. Carrières, exploitation et réaménagement. Vers une démarche de développement durable. 16 p.

Dubois P.j.D., Le Maréchal P., Olioso G. et Yesou P., 2000. Inventaire des oiseaux de France, avifaune de la France métropolitaine. Nathan/HER, Paris, 397 p.

Dumas de Rauly C., 2004. Mémoire de fin d'études. Les réaménagements des carrières de Lafarge Ciments. Bilan, bonnes pratiques et mise en place d'indicateurs. 41 p + annexes.

Dupaix A., 2004. Rédaction du document d'actions et de gestion concertée d'un site du Conservatoire d'Espaces Naturels de Poitou-Charentes : « Les carrières de Touvérac ». Mémoire de fin d'études, 68 p.

Dupieux, N., 1998. La gestion conservatoire des tourbières de France : premiers éléments scientifiques et techniques. Espaces Naturels de France, programme Life « Tourbières de France », 244 p.

Dutoit T., 1996. Dynamique et gestion des pelouses calcaires de Haute-Normandie. Université de Rouen, 220 p.

ECO-MED, 2007. Réhabilitation des carrières en PACA : l'approche écologique.

Écosphère, 1995. Zones humides et carrières en Île-de-France. UNICEM Île-de-France, 32 p.

Écosphère, 2005. Indice de Biodiversité à Long Terme (IBL). Guide technique. Groupe Lafarge, 30 p.

Écosphère. Guide technique pour l'aménagement des carrières sèches de sable, sablon et silice pour l'avifaune d'Île-de-France. DIREN Île-de-France, 16 p.

ENCEM, 2003. Potentialités écologiques et réaffectation. Typologie des habitats naturels. ENCEM et CNC-UNPG, 40 p + annexes.

ENCEM, 2004. Carrières de roche éruptive du Massif armoricain. Analyse bibliographique et réflexions. ENCEM et CNC-UNPG, 112 p.

ENCEM, 2004. Potentialités écologiques des carrières calcaires. Analyse bibliographique et réflexions. ENCEM et CNC-UNPG, 130 p.

ENCEM, 2007. Carrières de roches massives. Potentialités écologiques et réaffectations. Analyse bibliographique et réflexions. ENCEM, CNC-UNPG, SFIC et CNFCGM.

ENCEM, 2008. Carrières de roches massives. Potentialités écologiques. Analyse et synthèse des inventaires de 35 carrières. ENCEM et CNC-UNPG.

Esnault F., 1990. Remise en état des fronts de taille et des gradins dans les carrières de roches massives. Rapport de stage, S.E.M.C. 71 p. + annexes.

Espaces naturels, 2003. Recréer la nature. n° 1, 43 p.

Frochot B. 2000. Intérêt écologique et implications économiques des réaménagements de carrières. Méthodes d'évaluation et d'étude des trajectoires et vitesses d'évolution. Programme national de recherche « Recréer la nature ». 57 p. + annexes.

Guichard G., 1956. Notes sur la biologie du Grand-duc (*Bubo bubo* L.). L'oiseau et la R.F.O. 26 : 126 p.

Laboratoire d'écologie animale. Université de Franche-Comté, 1991. Typologie des carrières hors eau de Franche-Comté. Les cahiers de l'environnement. Cahier n° 10, 31 p + annexes.

Ladet A. et Bauvet C., 2002. Le patrimoine naturel de la carrière Lafarge de Cruas. FRAPNA, Lafarge Ciments, 62 p.

Lafarge Granulats, 2004. L'aménagement des carrières. Karibu éditions, 112 p.

Le Floc'h E. et Aronson J., 1995. Écologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base. Natures-Sciences-Sociétés, Hors-série 3 : 29-35.

Lecomte T., 1995. Gestion écologique par le pâturage : l'expérience des réserves naturelles. Réserves Naturelles de France. L'Atelier technique des espaces naturels, 76 p.

Legrand A. (BCEOM), 1989. La gestion extensive des dépendances vertes routières. SETRA et Ministère de l'Environnement, 119 p.

Malaval C., 1997. Problématique de réaménagement des carrières de roches massives. Mémoire de fin d'études, 57 p + annexes.

Maubert P. et Dutoit T., 1995. Connaître et gérer les pelouses calcicoles. L'Atelier technique des espaces naturels, 65 p.

Mission bassin minier Nord Pas-de-Calais, 2007. Guide pour l'ouverture au public d'un terril. Quelles démarches ? Comment aménager et gérer ? Mission bassin minier Nord Pas-de-Calais, 22 p.

Moore N.P., Kelly P.F., Lang F.A., Lynch J.M and Langton S.D., 1997. The Peregrine *Falco peregrinus* in quarries : current status and factors influencing occupancy in the Republic of Ireland. Bird Study, 44 : 176-181.

Morillon Corvol, 2004. Aménageur d'espaces, 114 p.

Müller S. (coord.), 2004. Plantes invasives en France. État des connaissances et propositions d'actions. MNHN, Patrimoines Naturels, 62. Paris, 168 p.

Nature Centre, 2000. Actes du colloque « La gestion des pelouses calcicoles ». Blois, 27 et 28 novembre 1999. Recherches naturalistes en région Centre, n° 7, 96 p. + annexes.

Neomys et UNICEM Lorraine. Carrières, écosystèmes inattendus en Lorraine, 23 p.

Noiret C. et Coppée J.-L., 2004. Les hirondelles de rivage. Répartition, habitats et mesures de sauvegarde en Wallonie. Région wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Division de la Nature et des Forêts, Travaux n° 27, 136 pp.

Odent B. et Lansiart M., 1999. Remise en état des carrières : principes généraux, recommandations techniques et exemples par type d'exploitation. BRGM et Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, 62 p.

Ouest-Aménagement, inédit. Pour une remise en état plus écologique des carrières de roches massives : principes et guide technique. DIREN Basse-Normandie.

Remacle A., 2005. L'inventaire des carrières de Wallonie (Belgique) : présentation générale et aspects entomologiques. Notes faunistiques de Gembloux, 57, pp 73-79.

Réserves naturelles de France, 1995. La gestion écologique par le pâturage : l'expérience des réserves naturelles.

Réserves naturelles de France, 2006. Guide méthodologique des plans de gestion de réserves naturelles. Outils de gestion et de planification. Cahier technique n° 79. L'Atelier technique des espaces naturels, 72 p.

Richard A., 1923. Le Grand-duc dans les Alpes. Nos oiseaux 6 : 65-74.

Sauveterre, 1985. Évaluation des potentialités écologiques des sites de carrières après exploitation et modalités de leur restauration écologique. Ministère de l'environnement, Ministère du redéploiement industriel et du commerce extérieur et Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats, 73 p.

Schneider N. et Wahis R., 1998. Contribution à la connaissance des Vespiformes des carrières du Grès de Luxembourg et notes additionnelles sur quelques Pompilidés (*Hymenoptera, Aculeata*). Archs Inst. G.-D. Luxemb. Sect. Sci. Nat. Phys. Math., NS 42 : 11-37.

Soltner D., 1988. L'arbre et la haie. Sciences et techniques agricoles. Angers, 206 p.

UICN France, MNHN, LPO, SEOF et ONCFS, 2008. Liste rouge des oiseaux nicheurs de métropole.

UICN France, MNHN, SFEPM et ONCFS, 2009. Liste rouge des mammifères de métropole.

UICN France, MNHN et SHF, 2009. Liste rouge des reptiles et amphibiens de métropole.

UNICEM et MNHN., à paraître. Guide des outils de diagnostic écologique des milieux.

UNPG, 1998. L'exploitation des granulats marins. UNICEM, 8 p.

UNPG, 2003. Les granulats. Unicem, 39 p.

Vanpeene-Bruhier S., 2002. Réaménagement agricole des carrières de granulats. CEMAGREF Éditions, 160 p.

Vanpeene-Bruhier S., 2003. Réaménagement forestier des carrières de granulats. CEMAGREF Éditions, Anthony, 319 p.

Vignes J.P., 1980. Étude de suivi écologique et paysager d'ouvrages soumis à étude d'impact : l'aménagement végétal de carrières à flanc de relief. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 110 p.

White C.M., and Cade T.J., 1971. Cliff-nesting raptors and Ravens along the Colville River in arctic Alaska. The Living Bird 10 : 107-150.

White G., Gilbert J., Benstead P., Fasham M. and José P., 2003. Habitat creation handbook for the minerals industry. The Royal Society for the Protection of Birds, 218 p.

Sigles et acronymes

AFAHC	Association française des arbres et haies champêtres
AFIE	Association française des ingénieurs écologues
CNPN	Conseil national de la protection de la nature
CPIE	Centre permanent d'initiatives pour l'environnement
CREN	Conservatoire régional des espaces naturels
DIREN	Direction régionale de l'environnement (administration désormais intégrée dans la DREAL*)
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DRIRE	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (administration désormais intégrée dans la DREAL*)
GOB	Groupement ornithologique breton
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
LPO	Ligue pour la protection des oiseaux
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
ONCFS	Office national de la chasse et de la faune sauvage
RGIE	Règlement général des industries extractives
SEOF	Société d'études ornithologiques de France
SFEPM	Société française pour l'étude et la protection des mammifères
SHF	Société herpétologique de France
SHNAO	Société d'histoire naturelle Alcide d'Orbigny
SN ROC	Syndicat national des industries de roches ornementales et de construction
TVB	Trame verte et bleue
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNICEM	Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction
UNPG	Union nationale des producteurs de granulats
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

Glossaire

Ce glossaire donne la signification des termes scientifiques ou techniques signalés par un astérisque * dans le texte. Il a été établi à partir des ouvrages suivants :

- Bioret F, Estève R. et Sturbois A., 2009. Dictionnaire de la protection de la nature. PUR.
- Delpech R., Dumé G. et Galmiche P., 1985. Typologie des stations forestières - Vocabulaire. IDF.
- Encyclopedia Universalis, 2001. Dictionnaire de l'écologie, 2001. Albin Michel.
- Le Petit Robert , 2003 – Dictionnaire de la langue française.
- Le dictionnaire Larousse, 2003.
- Rameau J.C., Mansion D. et Dumé G., 1993. Flore forestière française, tome 2 : montagnes. IDF.
  Touffet J., 1982. Dictionnaire essentiel d'écologie. Ouest-France.

Abiotique (facteur)	Qui n'a pas trait à la vie mais aux caractéristiques physico-chimiques du milieu : structure physique et composition chimique du sol (facteurs édaphiques*) et climat (facteurs climatiques).
Accrue	Événement dont l'occurrence se fait par vagues successives.
Acidiphile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions acides (sols et eaux), c'est-à-dire le plus souvent sur des roches éruptives* (non calcaires).
Alcalin	Lié à des terrains calcaires (synonyme de basique*).
Alliance	Unité dans la classification des groupements* végétaux en phytosociologie*.
Amphibie	Se dit d'un organisme qui vit tantôt sur terre, tantôt dans l'eau (à un moment de l'année comme les plantes des berges de plans d'eau ou à un moment de leur cycle biologique* comme les amphibiens).
Anémochore (plante)	Plante dont les semences sont disséminées par le vent.
Annuelle (plante, espèce)	Plante dont la totalité du cycle de végétation dure moins d'un an et qui est donc invisible une partie de l'année. Beaucoup de plantes des terrains remaniés régulièrement, comme les terres cultivées, sont des plantes annuelles (Coquelicot, Mouron rouge...).
Anthropique	Lié à l'action de l'homme.
Arachnide	Classe d'invertébrés regroupant notamment les araignées, les scorpions et les acariens.
Assolement	Rotation des cultures dans une exploitation agricole.
Atterrissement	Comblement progressif d'un milieu aquatique aboutissant à son exondation partielle ou totale.
Aulnaie	Bois d'aulnes ou riche en aulnes.
Avifaune	Ensemble des espèces d'oiseaux dans un espace donné.
Banquette	Partie horizontale située à la base d'un front de taille*.
Basiphile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions alcalines* (sols et eaux), c'est-à-dire le plus souvent sur des terrains calcaires.
Basique	Dont le pH est supérieur à 7, donc le plus souvent lié à des terrains calcaires.
Benthique	Qualifie une zone correspondant au fond d'une étendue d'eau. Qualifie un organisme d'un écosystème aquatique vivant au contact du sol ou à sa proximité immédiate.
Berme	Accotement souvent herbeux d'une route ou d'un chemin.
Bétulaie	Bois de bouleaux ou riche en bouleaux.
Biocénose	Ensemble des organismes vivants occupant un biotope* donné ; une biocénose et son biotope* constituent un écosystème*.
Biogéographie	Étude de la répartition géographique des organismes vivants.

Biomasse	Masse de matière vivante produite par une biocénose*, rapportée à l'unité de surface et exprimée en matière sèche.
Biotique (facteur)	Qui est propre à la vie, à l'action des organismes vivants sur le milieu physique ou sur les autres organismes (prédation, concurrence...).
Biotope	Ensemble théorique des conditions physico-chimiques définissant un écosystème* donné.
Bisannuelle (plante)	Plante dont le cycle de végétation s'étend sur deux ans (Carotte, Digitale pourpre...). La première année sert à l'accumulation de réserves qui sont utilisées l'année suivante pour la floraison.
Bryophytes	Groupe de végétaux comprenant les mousses, les hépatiques et les sphaignes.
Calcicole	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes qui se rencontre préférentiellement sur des sols riches en calcium.
Carreau	Partie de carrière horizontale formée par l'avancée progressive des fronts de taille* (localisée en fond de fosse).
Cavernicole	Désigne tout ce qui concerne les habitats souterrains (grottes, gouffres, rivières souterraines) et, par extension, les animaux qui vivent ou se reproduisent dans des cavités (le terme cavicole est alors plus approprié).
Chablis	Arbre ou ensemble d'arbres renversé, déraciné ou cassé par suite d'un accident climatique le plus souvent (vent, neige, givre, etc.), ou parfois du fait d'une mauvaise exploitation.
Chaîne trophique	Succession d'organismes vivants dont chacun se nourrit aux dépens du précédent.
Characées	Famille d'algues vertes d'eaux douces à saumâtres caractéristiques des milieux aquatiques récents.
Chasmophyte	Plante dont les racines se développent dans les fissures des parois rocheuses.
Chiroptères	Chauves-souris.
Cladiaie	Formation végétale dominée par le Marisque (*Cladium mariscus*), plante des marais basiphiles*.
Climacique	Qui correspond au climax*.
Climax	État d'équilibre d'un écosystème* en dehors de toute intervention humaine. En France, le climax le plus répandu est le stade forestier.
Coléoptères	Plus vaste ordre d'insectes Ptérygotes caractérisé par la transformation de la paire d'ailes antérieures en un étui corné, les élytres, protégeant la paire d'ailes postérieures, fonctionnelle. Ce sont les scarabées, hannetons, coccinelles...
Colluvion	Matériau abandonné par les eaux de ruissellement, coulées de boue ou glissements de terrains sur les pentes ou au bas des versants.
Colluvionnement	Accumulation de colluvions*.
Commensale (espèce)	Qui vit en association avec un organisme ou un groupe d'organismes sans que ces derniers en souffrent ou en tirent profit.
Connectivité	Dans le domaine de l'écologie du paysage, la notion de connectivité se rapporte au degré de connexion entre les éléments d'un habitat à l'échelle d'un paysage.
Coprophage	Qualifie un animal qui se nourrit d'excréments. Certains, comme les scarabées et les bousiers, roulent des boules faites de matières fécales et s'enterrent avec pour y pondre et permettre à leurs larves de s'y développer.
Corridor écologique	Structure linéaire du paysage qui assure un rôle de liaison fonctionnelle des écosystèmes ou des habitats d'espèces.
Cortège (floristique, faunistique...)	Ensemble des espèces végétales ou animales vivant dans un lieu donné (station*, site, région naturelle, pays...).
Cryptogames	Ensemble des végétaux ne possédant pas de véritables fleurs, regroupant les ptéridophytes (« fougères »), les bryophytes (« mousses ») et les thallophytes (« algues »).

Cultivar	Variété de plante obtenue par sélection en culture et présentant des caractéristiques techniques ou esthétiques particulières.
Cycle biologique	Succession des différentes phases de développement d'un organisme depuis sa naissance jusqu'à sa mort (l'œuf, le têtard et l'adulte sont par exemple les trois phases du cycle biologique des grenouilles).
Diachronique (approche)	Se dit d'observations échelonnées dans le temps mais aux mêmes endroits (par exemple, suivi de la végétation d'une placette sur plusieurs années, voire décennies). Voir synchronique*.
Diptères	Ordre d'insectes Ptérygotes possédant seulement une paire d'ailes fonctionnelles, la paire postérieure étant réduite à un organe minuscule utilisé pendant le vol, les balanciers. Ce sont les mouches, moustiques, taons...
Dormance	État d'une graine ou d'un organe végétatif (bourgeons dormants par exemple) à l'état de vie ralentie.
Écologie (d'une espèce)	Rapports d'une espèce avec son milieu ; ensemble des conditions préférentielles de ce milieu dans lequel se rencontre cette espèce.
Écologie	Science étudiant les interactions entre les organismes vivants et leur milieu de vie.
Écologie de la restauration	L'écologie de la restauration s'attache à étudier l'ensemble des processus, naturels ou intentionnels, qui tendent à faciliter le rétablissement des caractéristiques originelles d'un écosystème dégradé, endommagé ou détruit.
Écosystème	Système défini approximativement dans l'espace et dans le temps, modélisant l'ensemble des relations des êtres vivants (biocénose*) entre eux et des êtres vivants avec l'environnement physico-chimique (biotope*) ; le concept est opérationnel à des échelles très variables (forêt tropicale, mare temporaire, souche en décomposition...).
Écotone	Zone de transition entre deux habitats naturels distincts (lisière entre un bois et une prairie par exemple) ou entre deux écosystèmes, souvent d'une grande richesse biologique.
Écotype	Taxon* présentant des caractères particuliers héréditaires, résultant d'une sélection naturelle exercée par les facteurs du milieu.
Édaphique	Lié au sol.
Endémique	Se dit d'un taxon* qui ne se rencontre qu'en un lieu ou une région donnés. L'endémisme peut se situer au niveau d'une localité de taille très réduite (quelques m^2) ou d'une région étendue (un continent).
Endophyte	Organisme qui se développe à l'intérieur des tissus d'une plante.
Entomofaune	Ensemble des insectes, population d'insectes d'un lieu donné.
Entomologiste	Personne qui étudie les insectes.
Éphéméroptères	Ordre de la classe des insectes regroupant les éphémères, petits insectes ailés (adultes) vivant aux bords des eaux bien oxygénées, reconnaissables à leurs deux ou trois longs filaments (cerques) prolongeant l'abdomen.
Éricacées	Famille de plantes ligneuses* qui contient notamment les bruyères (genre *Erica*).
Éruptive (roche)	Roche résultant de la cristallisation d'un magma (granite, basalte...), riche ou assez riche en silice, donnant des sols acides* à neutres*.
Étiage	Niveau de débit le plus faible atteint par un cours d'eau au cours du cycle annuel (le plus souvent en été).
Étrépage	Opération consistant à décaper la partie superficielle de la végétation (dont les racines) à l'aide d'un outil tranchant. Cette pratique agricole ancienne est aujourd'hui surtout utilisée comme moyen d'entretien de la végétation dans la gestion des espaces naturels.
Eutrophe	Riche en éléments nutritifs, généralement non ou faiblement acide, et permettant une forte activité biologique.

Eutrophisation	Processus d'enrichissement excessif d'un sol ou d'une eau par apport, en quantité importante, de substances (azote surtout, phosphore, potassium, etc.) modifiant profondément la nature des biocénoses* et le fonctionnement des écosystèmes*.
Exhaure (eau d'exhaure)	Épuisement par pompage des eaux pluviales et souterraines qui s'accumulent dans la fosse d'une carrière.
Exuvie	Enveloppe laissée par un animal lors de la mue.
Faucardage	Coupe des végétaux aquatiques et amphibies.
Fèces	Déjection animale solide.
Feldspath	Minéral silicaté potassique, sodique ou calcique caractéristique des roches magmatiques et métamorphiques.
Fongicide	Produit phytosanitaire destiné à tuer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux.
Formation végétale	Type de végétation défini plus par sa physionomie que sa composition floristique (prairie*, roselière*, friche, lande*, etc.).
Fourré	Peuplement buissonnant ou arbustif dense et difficilement pénétrable, constitué selon les sols et les régions de ronces, Prunellier, Ajonc d'Europe, Genêt à balais, Genévrier, Buis, rosiers, jeunes arbres, etc.
Frênaie	Bois de frênes ou riche en frênes.
Friche	Formation végétale* se développant spontanément sur un terrain qui ne fait l'objet d'aucun entretien.
Front de taille	Paroi verticale de la carrière, obtenue par abattage de la roche à l'explosif (tir de mines).
Gabion	Casier grillagé empli de pierres, destiné à lutter contre l'érosion des berges.
Génie écologique	Ensemble de techniques d'aménagement et de restauration de milieux naturels faisant appel au processus du vivant (faune, flore, bactérie...) ou aux processus pédologiques (reconstitution de sols).
Glacis	Surface rocheuse ou minérale plane et inclinée.
Gradient	Variation plus ou moins progressive d'un facteur physique ou chimique.
Gradient hydrique	Variation du degré d'humidité d'un substrat*, au niveau de la berge d'un plan d'eau par exemple. Le gradient est important quand la variation est progressive. Le gradient peut être nul (paroi rocheuse verticale dans un plan d'eau, par exemple).
Gradient thermique	Variation de la température au sein d'un milieu terrestre ou aquatique.
Gradient trophique	Variation de la richesse d'un substrat ou d'un milieu aquatique en éléments nutritifs.
Gradin	Partie de carrière constituée d'un front de taille* et de sa banquette*.
Graminées	Famille regroupant les plantes couramment appelées « herbes », communes dans les prairies où elles constituent l'essentiel du foin, comme l'avoine, l'ivraie, le fromental, le dactyle, la fétuque, etc. Cette famille est désormais appelée « Poacées ».
Granulométrie	Description de la composition minérale d'un sol (ou d'un produit) en fonction de la taille des particules qui le constituent (argiles, limons, sables, graviers...).
Grenue	Qualifie une roche formée d'une juxtaposition de minéraux.
Grève	Berge en pente douce constituée de matériaux sablonneux ou de graviers, exondée en période estivale.
Groupement (végétal)	Ensemble des végétaux différents qui constituent une unité de végétation relativement homogène en colonisant un même milieu.
Habitat	Environnement physico-chimique et biologique dans lequel vit et se reproduit une espèce.

Haut-jet (arbre)	Arbre mené librement, sans taille de recépage*, pour former un tronc bien développé.
Héliophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes qui se développent préférentiellement en pleine lumière (contraire de sciaphile*).
Helminthicide	Produit vétérinaire destiné à éliminer certains types de vers (vermifuge).
Hélophyte	Plante de marais enracinée dans la vase du fond de l'eau mais dont les tiges et feuilles sont aériennes (Phragmite, massettes...).
Herbacé(e)	Qui a la consistance souple et tendre de l'herbe. On oppose en général les plantes herbacées aux plantes ligneuses*.
Humifère	Qui contient une forte proportion d'humus*.
Humus	Partie de la matière organique décomposée du sol.
Hydrique	Lié à l'eau.
Hydrologie	Étude scientifique des eaux naturelles (nature, formation, propriétés physico-chimiques).
Hygrocline	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes se développant en conditions assez humides.
Hygrométrie	Teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère.
Hygrophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes ayant besoin de fortes quantités d'eau tout au long de son développement et croissant en conditions très humides (sol engorgé en permanence).
Hygrotrophie	Teneur en eau d'un substrat ou d'un sol (hygrotrophie édaphique)
Hyménoptères	Ordre de la classe des insectes regroupant les abeilles, les guêpes et les fourmis.
Jachère	Etat d'une terre cultivable temporairement non cultivée mais faisant généralement l'objet d'un entretien (une terre cultivée abandonnée pour une durée inconnue et sans entretien évolue en friche*).
Jauge (mise en)	Technique de culture consistant à placer un végétal de façon temporaire dans un substrat meuble (terre, sable) dans l'attente de son utilisation (plantation, semis...).
Jonçaie	Formation* végétale sur sol humide, dominée par des joncs.
Karst (karstique)	En pays calcaire, plateau affecté par la dissolution irrégulière de ses roches par les eaux de pluie chargées en gaz carbonique, ce qui lui confère un relief particulier (grottes notamment).
Lande	Formation* végétale caractérisée par la dominance d'arbrisseaux sociaux (lande à bruyères, lande à ajoncs...).
Légumineuses	Famille constituée notamment par la sous-famille des « Fabacées » qui regroupe les plantes dont le fruit est une gousse, comme le pois, le haricot (« légume »), le lotier, les genêts, etc.
Lentique	Désigne un biotope* ou un être vivant propre aux écosystèmes* d'eaux calmes à renouvellement lent (lacs, marécages, étangs, etc.).
Lépidoptères	Ordre de la classe des insectes regroupant les papillons de jour (lépidoptères rhopalocères) et les papillons de nuit (lépidoptères hétérocères).
Ligneux (se)	Formé de bois ou ayant la consistance du bois. On oppose généralement les espèces ligneuses (arbres, arbustes, arbrisseaux, sous-arbrisseaux) aux espèces herbacées*.
Limicole	Qui vit ou se nourrit dans la vase. Ce terme s'applique surtout aux oiseaux des vasières (courlis, bécassines, chevaliers, Huitrier-pie...)
Lithophyte	Plante se développant sur des sols minéraux ou lithosols*.
Lithosol	Sol minéral très peu évolué ou constamment rajeuni par l'érosion.
Magmatique	Désigne une roche résultant de la cristallisation du magma par refroidissement.

Magnocariçaie	Formation végétale dominée par les grandes laîches (*Carex* du type *Carex riparia*), plantes des marais.
Manteau	Végétation essentiellement arbustive située linéairement en lisière de forêt.
Marnage	Variation du niveau de l'eau, mesurée le plus souvent entre les hautes eaux d'hiver et les basses eaux d'été (mais le phénomène peut également être artificiel, du fait d'un pompage par exemple).
Marneux	Relatif à la marne qui est une roche sédimentaire constituée d'un mélange de calcaire et d'argile.
Matières en suspension (MES)	Particules minérales et/ou organiques insolubles présentes dans une eau naturelle ou polluée. En carrière, il s'agit généralement de particules argileuses qui sont éliminées par simple décantation dans des bassins.
Mellifère	Qui produit du nectar et/ou du pollen. Une jachère mellifère est une parcelle cultivée avec des plantes comme la phacélie, le sainfoin, le mélilot...et qui est destinée à la production de miel.
Merlon	Dépôt linéaire constitué de matériaux de découverte (terre végétale, roche altérée), généralement édifié dans un but de protection visuelle, auditive...
Mésoacidiphile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions de pH modérément acide (sols et eaux).
Mésohygrophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions hydriques intermédiaires entre mésophile* et hygrophile* (milieu légèrement humide).
Mésophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions d'humidité moyennes (ni sec, ni humide).
Mésotrophe	Moyennement riche en éléments nutritifs, modérément acide et induisant une activité biologique moyenne.
Mésoxérophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions hydriques intermédiaires entre mésophile* et xérophile (milieu assez sec).
Messicole	Qualifie une plante qui se rencontre dans les cultures de céréales (Bleuet, Coquelicot, Nielle des blés...).
Métapopulation	Ensemble de sous-populations d'une espèce dont chacune occupe un îlot d'habitat favorable dans un paysage qui, par ailleurs, constitue un habitat défavorable à cette espèce. La sous-population peut avoir un effectif qui fluctue mais l'extinction locale peut être évitée par l'arrivée occasionnelle d'immigrants venant des îlots voisins de la métapopulation. « Méta » est un préfixe signifiant supérieur (d'un point de vue abstrait).
Monospécifique	Peuplement constitué d'une seule espèce (une prairie temporaire ensemencée en Ray-grass d'Italie est une formation végétale monospécifique).
Mull	Type d'humus des sols riches et peu acides, formé à partir de débris végétaux peu ligneux* et riches en azote, qui se décompose très rapidement en raison d'une intense activité biologique (humus fertile).
Mustélidés	Famille de mammifères carnivores comprenant à l'état naturel, en France, la Belette, l'Hermine, la Fouine, le Blaireau européen, la Martre, le Putois, le Vison d'Europe et la Loutre.
Mycorhize	Association symbiotique* du mycélium d'un champignon avec les racines de plantes supérieures (en particulier les arbres).
Myriapode	Classe d'arthropodes appelés communément « mille-pattes ».
Nectarifère (plante)	Qui produit du nectar, substance sucrée secrétée par les fleurs et recherchée par les insectes pollinisateurs.
Neutre	Dont le pH est égal ou proche de 7, c'est-à-dire ni acide*, ni basique*.

Neutroacidicline	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions stationnelles de pH moyennement acides à neutres (sols et eaux).
Neutrophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant préférentiellement en conditions de pH voisin de la neutralité (ni acides, ni basiques).
Nitrophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes croissant sur des sols riches en composés azotés (nitrates).
Nodosité	Sur la racine des légumineuses*, renflement qui contient des bactéries symbiotiques* fixatrices d'azote atmosphérique.
Nomenclature	Liste de référence (ou référentiel taxonomique) donnant le nom scientifique d'un groupe d'organismes (une même espèce peut avoir plusieurs noms scientifiques synonymes en fonction de la nomenclature utilisée).
Odonates	Ordre de la classe des insectes correspondant aux libellules et constitué principalement de deux sous-ordres : les zygoptères (demoiselles) et les anisoptères (libellules *stricto sensu*).
Oligotrophe	Très pauvre en éléments nutritifs et ne permettant qu'une activité biologique réduite.
Orthoptères	Ordre de la classe des insectes comprenant d'une part les criquets (sous-ordre des cælifères), d'autre part les sauterelles et grillons (sous-ordre des ensifères).
Ourlet	Végétation herbacée ou sous-frutescente (ligneux) se développant en lisière des forêts et des haies ou dans les petites clairières à l'intérieur des forêts.
Paludicole	Qualifie un organisme qui vit dans les marais (s'applique essentiellement aux oiseaux).
Pédogenèse	Ensemble des processus (physiques, chimiques et biologiques) qui régissent la formation et l'évolution des sols.
Pelouse	Formation* végétale basse, herbacée*, plus ou moins ouverte, dominée par les graminées. Les pelouses se distinguent des prairies* par le fait qu'elles sont associées à des sols superficiels plus pauvres en nutriments, ne permettant qu'un développement lent et progressif des ligneux*.
Pendage	Angle d'une couche géologique avec un plan horizontal. Le sens du pendage est la direction de la ligne de plus grande pente de la couche considérée, orientée vers le bas.
Perturbation	Événement aléatoire et brusque, d'origine diverse (forte crue, gel, sécheresse, destruction par l'Homme...), qui modifie la structure et le fonctionnement d'un habitat naturel ou d'un écosystème.
Pétitionnaire	Personne ou entité juridique signataire de la demande d'autorisation, en d'autre terme c'est le maître d'ouvrage exploitant la carrière.
Phragmitaie	Formation végétale dominée par le Phragmite* (*Phragmites australis*).
Phragmite	Plante (*Phragmites australis*) des marais et rives des cours d'eau lents sur sol minéral, appelée communément roseau, de 2 à 3 m de hauteur et formant des peuplements denses, parfois très étendus (phragmitaie*). C'est aussi le nom d'un oiseau, le Phragmite des joncs.
Phytophage	Qui se nourrit de végétaux.
Phytosociologie	Étude scientifique des tendances naturelles que manifestent des espèces végétales différentes à cohabiter ou au contraire à s'exclure ; étude des groupements* végétaux (ou phytocénoses) à l'aide de méthodes floristiques et statistiques, débouchant sur une classification.
Pionnier(ère)	Relatif à une espèce ou un ensemble d'espèces aptes à coloniser des terrains nus.
Plagioclase	Feldsphath sodi-calcique c'est-à-dire riche en sodium et/ou calcium.
Plécoptères	Petits insectes ailés (adultes) des bordures d'eaux vives.
Podzol (podzolisation)	Type de sol dont l'évolution est provoquée par des processus chimiques (action d'acides organiques) qui s'ajoutent aux processus purement physiques du lessivage. Ce sont des sols à humus acide, appauvri en argile et en fer.

Population	Ensemble des individus appartenant à la même espèce vivant généralement dans des conditions de milieu homogènes, dans une région donnée, à un moment donné.
Prairie	Formation* végétale herbacée*, fermée et dense, dominée par les graminées* et faisant l'objet d'une gestion agricole par fauche ou pâturage.
Propagule	Organe assurant la multiplication des plantes par voie végétative (bulbe, tubercule, tige souterraine ou rhizome...).
Puits (effet)	Formule désignant une situation dans laquelle la mortalité de la population est supérieure à sa natalité.
Pyroxène	Groupe de minéraux silicatés* ferro-magnésiens, composant habituel des roches magmatiques pauvres en silice.
Ranker	Sol acide peu épais formé sur une roche mère cristalline, le plus souvent sous climat humide ou montagnard.
Réaffectation (d'un milieu naturel)	Terme utilisé dans le domaine de l'écologie de la restauration*, caractérisant la trajectoire d'un écosystème* vers un stade nouveau, ayant une composition spécifique, une structure et une fonction généralement différentes de celles de l'état originel. Dans ce cas, l'intervention humaine est importante et permanente.
Recépage	Taille à la base de la tige d'un jeune plant, destinée à former des rejets (cépée).
Récolement	Vérification contradictoire entre l'exploitant et l'administration de l'exécution des clauses et conditions imposées (arrêté préfectoral d'autorisation), après l'exploitation d'un site.
Refuge (zone)	Zone géographique de taille variable permettant le maintien ou l'accueil d'espèces au sein d'un espace plus large qui leur est défavorable, parfois à l'extérieur de l'aire de répartition des espèces (cas des tourbières françaises abritant des espèces nordiques, par exemple).
Régalage	Opération qui consiste à étaler des matériaux (terre végétale, stériles...) de manière relativement régulière sur un espace donné.
Réhabilitation (d'un milieu naturel)	Terme utilisé dans le domaine de l'écologie de la restauration, caractérisant la trajectoire d'un écosystème dégradé vers un stade acceptable, proche de l'état originel, une fois que la perturbation est maîtrisée.
Ressuyé	Désigne un sol ou un substrat* dont l'eau s'est infiltrée en profondeur.
Restauration (d'un milieu naturel)	Terme de génie écologique qui qualifie le fait de stopper la dégradation d'un milieu naturel et de tenter de rétablir les fonctions essentielles (production, autoreproduction...) et la structure générale d'un écosystème* dégradé.
Rhizome	Tige souterraine, souvent renflée, qui est l'organe de persistance d'un certain nombre de plantes herbacées vivaces* (ex : muguet, Fougère aigle).
Rhopalocères	Ensemble des papillons de jour.
Rippage (ripper)	Opération consistant à décompacter un substrat sur une épaisseur de quelques décimètres à l'aide d'un engin muni de dents verticales (ripper).
Rivulaire	Qui vit dans les eaux courantes (ruisseaux ou rivières) ou sur leurs berges.
Roche mère	Substratum minéral localisé sous le sol et à partir duquel se forme le sol. Ce substratum peut être une roche, même altérée, un produit d'altération ou un dépôt (formation superficielle, alluvions).
Roselière	Peuplement dense de grandes plantes herbacées* (roseaux...) poussant dans des zones humides.
Rudéral (ale, aux)	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes caractéristiques de terrains fortement transformés par les activités humaines (décombres, jardins, friches industrielles...).
Rupestre	Relatif à un organisme (animal) se développant sur les rochers (comme le Faucon pèlerin).

Rupicole	Se dit d'un organisme (plante) se développant sur des parois et falaises rocheuses (synonyme : saxicole*).
Sabulicole	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes se développant dans ou sur le sable.
Saprophage	Qualifie un organisme qui se nourrit de matières organiques en cours de décomposition (les champignons du sol par exemple).
Saxicole	Se dit d'une espèce ou d'un groupement d'organismes se développant sur des rochers.
Sciaphile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes tolérant un ombrage important (contraire d'héliophile*).
Silice	La silice (ou dioxyde de silicium) est un composé chimique acide qui entre dans la composition de nombreux minéraux (le quartz est le plus connu et le plus commun) et de nombreuses roches. L'écorce terrestre est constituée à 75 % de silice.
Silicicole	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes qui se rencontre préférentiellement sur des sols riches en silice (conditions stationnelles généralement acides).
Sociable (graminée)	Espèce dont les individus forment des peuplements denses, parfois monospécifique*.
Source (zone)	Zone favorable au développement d'une espèce qui, par voie de conséquence, peut s'étendre à d'autres milieux situés en périphérie.
Sous-solage	Labour profond.
Spécialisée (espèce)	Espèce liée à des conditions écologiques particulières ou ayant un spectre alimentaire réduit.
Spontané (e)	Se dit d'une espèce ou d'un groupement d'organismes se développant à l'état sauvage, naturellement, sans introduction par l'Homme.
Station	1- Étendue de terrain de superficie variable mais généralement modeste, où les conditions physiques et biologiques sont relativement homogènes. 2- Site où se développe un organisme donné.
Stériles (matériaux)	Matériaux minéraux non commercialisables des mines et carrières.
Substrat	Support sur lequel vit un organisme ou un groupement* d'organismes.
Substratum	Formation géologique constituant le socle des éléments paysagers.
Succession	Suite des groupements d'organismes qui se succèdent au cours du temps en un lieu donné et qui constituent une série évolutive progressive ou régressive.
Symbiotique	Se dit d'une relation entre deux organismes dont chacun tire bénéfice.
Synchronique (approche)	Se dit d'observations faites en plusieurs endroits au même moment (voir diachronique*).
Systématique	Classification des êtres vivants selon un système hiérarchisé en fonction de critères variés parmi lesquels les affinités morphologiques et surtout génétiques sont prépondérantes.
Talutage	Opération consistant à donner une pente régulière (talus) à des matériaux en remblai ou en déblai.
Taxon	Unité quelconque de la classification des organismes vivants (classe, ordre, famille, genre, espèce, sous espèce, variété...). Une prairie qui abrite 53 espèces végétales, plus quatre sous-espèces et trois plantes non identifiées contient au total 60 taxons.
Terres de découverte	Matériaux superficiels (terre végétale et roche altérée) recouvrant la roche saine.

Thermophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes qui croît préférentiellement dans des sites chauds (et généralement ensoleillés).
Tourbière	Étendue marécageuse dont le sol est exclusivement composé de matière organique végétale non totalement décomposée (tourbe).
Transect	Itinéraire rectiligne de prospection et/ou d'échantillonnage recoupant une diversité maximale de situations topographiques, géologiques, géomorphologiques et/ou végétales.
Trophique	Qui a trait à la nourriture (voir chaîne trophique*).
Typhaie	Formation végétale dominée par les massettes (*Typha angustifolia* et *Typha latifolia*), plantes souvent pionnières des zones humides.
Ubiquiste	Se dit d'une espèce pouvant se rencontrer dans la plupart des habitats du fait de sa forte plasticité écologique.
Vasculaires (plantes ou flore)	Groupe de végétaux constitué des plantes dites « à fleurs » comme les légumineuses* ou les graminées* (spermaphytes) et des « fougères » comme la Fougère aigle ou les prêles (ptéridophytes).
Vernaculaire	Qualifie le nom français d'une espèce (le Phragmite est le nom vernaculaire de l'espèce *Phragmites australis*, souvent appelée roseau).
Vivace	Qualifie une plante dont le cycle de végétation dure plus de deux années.
Xérique	Qualifie un milieu très sec.
Xérophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes s'accommodant de conditions sèches permanentes.
Xérothermophile	Se dit d'un organisme ou d'un groupement* d'organismes qui croît préférentiellement dans des sites chauds et secs.
Xylophage	Qui se nourrit de bois. Ce sont généralement des insectes dont la larve creuse des galeries dans l'écorce et le bois pour se nourrir.
Zoochorie	Mécanisme de dispersion des semences par les animaux.

Table des matières

1 - INTRODUCTION **11**

1.1 Avertissement 11
1.2 Pourquoi un guide ? 11
1.3 Pourquoi une gestion écologique au quotidien ? 12
1.4 À qui s'adresse ce guide ? 12
1.5 Comment utiliser ce guide ? 13
1.6 Quelles sont les sources des données ? 15

2 - LES CARRIÈRES DE ROCHES MASSIVES **19**

2.1 Les carrières en France 19
2.1.1 Surface et nombre 19
2.1.2 Production 19
2.2 Principales caractéristiques physiques des carrières de roches massives 21
2.2.1 La nature de la roche 22
2.2.2 Les différents types de carrières 24
2.3 Quelques notions d'écologie adaptées aux carrières de roches massives 25
2.4 La réglementation 30
2.4.1 La remise en état 30
2.4.2 Les espèces protégées 36
2.4.3 L'échardonnage 38
2.4.4 Politiques publiques et biodiversité des carrières 40

3 - L'ORGANISATION DE LA GESTION AU QUOTIDIEN ET DES AMÉNAGEMENTS **45**

3.1 Introduction 45
3.2 Les étapes de l'organisation de la gestion et des aménagements 45
3.3 Différents niveaux d'intervention 46
3.4 Plan de gestion, plan d'aménagement et suivi écologique 48
3.4.1 L'organisation de la gestion écologique au quotidien : le plan de gestion 48
3.4.2 L'organisation des aménagements écologiques : le plan d'aménagement 49
3.4.3 Le suivi écologique 50
3.4.4 La sensibilisation et la formation du personnel 56

4 - DONNÉES GÉNÉRALES SUR LA GESTION ET LES AMÉNAGEMENTS ÉCOLOGIQUES EN CARRIÈRE **61**

4.1 Les grandes orientations du guide 61
4.1.1 L'écologie de la restauration 61
4.1.2 Les travaux de végétalisation 61
4.1.3 Milieux ouverts et substrats compacts 61
4.1.4 L'emploi de la terre végétale 62
4.1.5 Nature ordinaire et espèces remarquables 62
4.1.6 « Donner un coup de pouce à la nature » 62
4.1.7 Privilégier le moindre coût environnemental 62
4.2 Quelques principes de l'aménagement écologique en carrière 63
4.2.1 Éviter les finitions « jardinées » 63
4.2.2 Éviter l'homogénéité des habitats 63
4.2.3 Remanier les milieux à la bonne période 63
4.2.4 Répartir les habitats naturels sur la carrière 63
4.2.5 Ne pas empoissonner tous les bassins 64
4.3 Les corridors écologiques 65

4.4 Les milieux aquatiques 69
4.5 L'entretien de la végétation 73
4.5.1 Définition 73
4.5.2 Les principales méthodes d'entretien de la végétation en carrière 73
4.5.3 Autres méthodes d'entretien de la végétation 84
4.5.4 Évaluation des coûts d'entretien de la végétation 85
4.5.5 Bilan des avantages et inconvénients des principales méthodes d'entretien 86
4.5.6 La limitation des espèces végétales invasives 86
4.6 Les travaux de végétalisation 89
4.6.1 La végétalisation par semis 90
4.6.2 La végétalisation par plantation 92
4.6.3 L'application des principes écologiques aux opérations de végétalisation 98
4.7 Les travaux de restauration par transfert de milieu 99
4.8 L'ouverture au public 101

5 - GESTION ET AMÉNAGEMENT ÉCOLOGIQUES DES DIFFÉRENTS SECTEURS D'EXPLOITATION 107

5.1 Mode d'emploi des fiches 107
5.2 Localisation des secteurs d'exploitation 108

1 - Les remblais de matériaux stériles 109
1. Description 109
2. Intérêt écologique 110
2.1 Habitats naturels 110
2.2 Flore 112
2.3 Faune 112
2.3.1 *Invertébrés* 112
2.3.2 *Vertébrés* 112
2.4 Facteurs favorables et limitants 113
3. La gestion écologique au quotidien 114
4. Les aménagements à vocation écologique 115
5. Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 120

2 - Les merlons et stocks de terre végétale 121
1. Description 121
2. Intérêt écologique 122
2.1 Habitats naturels 122
2.2 Flore 124
2.3 Faune 124
2.3.1 *Invertébrés* 124
2.3.2 *Vertébrés* 125
2.4 Facteurs favorables et limitants 125
3. La gestion écologique au quotidien 126
4. Les aménagements à vocation écologique 127
5. Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 128

3 - Les zones décapées 129
1. Description 129
2. Intérêt écologique 130
2.1 Habitats naturels 130
2.2 Flore 130
2.3 Faune 130
2.3.1 Invertébrés 130
2.3.2 Vertébrés 131
2.4. Facteurs favorables et limitants 131
3. La gestion écologique au quotidien 133

4. Les aménagements à vocation écologique 134
5. Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 136

4 - Les fronts de taille 137
1 Description 137
2 Intérêt écologique 138
2.1 Habitats naturels 138
2.2 Flore 139
2.3 Faune 139
2.4 Facteurs favorables et limitants 141
3 La gestion écologique au quotidien 142
4 Les aménagements à vocation écologique 143
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 152

5 - Les éboulis et dépôts de blocs rocheux 153
1 Description 153
2 Intérêt écologique 154
2.1 Habitats naturels 154
2.2 Flore 155
2.3 Faune 155
2.3.1 Invertébrés 155
2.3.2 Vertébrés 155
2.4 Facteurs favorables et limitants 156
3 La gestion écologique au quotidien 157
4 Les aménagements à vocation écologique 157
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 159

6 - Les dépôts et zones de matériaux fins 161
1 Description 161
2 Intérêt écologique 162
2.1 Habitats naturels 162
2.2 Flore 162
2.3 Faune 162
2.3.1 Invertébrés 162
2.3.2 Vertébrés 164
2.4 Facteurs favorables et limitants pour la faune 164
3 La gestion écologique au quotidien 165
4 Les aménagements à vocation écologique 166
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 168

7 - Les carreaux et mares temporaires 169
1 Description
2 Intérêt écologique 170
2.1 Habitats naturels 170
2.2 Flore 172
2.3 Faune 172
2.3.1 Invertébrés 172
2.3.2 Vertébrés 173
2.4 Facteurs favorables et limitants 174
3 La gestion écologique au quotidien 175
4 Les aménagements à vocation écologique 176
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 180

8 - Les bassins permanents 181
1 Description 181

2 Intérêt écologique 182
2.1 Habitats naturels 182
2.2 Flore 183
2.3 Faune 183
2.3.1 *Invertébrés* 183
2.3.2 *Vertébrés* 183
2.4 Facteurs favorables et limitants 184
3 La gestion écologique au quotidien 185
4 Les aménagements à vocation écologique 186
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 187

9 - Les bassins de décantation 189
1 Description 189
2 Intérêt écologique 190
2.1 Habitats naturels 190
2.2 Flore 191
2.3 Faune 192
2.4 Facteurs favorables et limitants 192
3 La gestion écologique au quotidien 193
4 Les aménagements à vocation écologique 193
5 Évaluation du coût de la gestion et des aménagements 196

10 - Les plans d'eau de fosse 197
1 Description 197
2 Intérêt écologique 198
2.1 Habitats naturels 198
2.2 Flore 198
2.3 Faune 198
2.3.1 Invertébrés 198
2.3.2 Vertébrés 199
2.4 Facteurs favorables et limitants 199
3 La gestion écologique au quotidien 200
4 Les aménagements à vocation écologique 200
5. Évaluation du coût de la gestion et des aménagement 204

CONCLUSION 207

REMERCIEMENTS 209

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES 211

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 213

SIGLES ET ACRONYMES 216

GLOSSAIRE 217

TABLE DES MATIÈRES 227

Dépôt légal : septembre 2011
© UNICEM 2011, tous droits réservés
Imprimé sur cocoon silk par les Impressions Dumas à Niort, labellisées Imprim'Vert

Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction
3, rue Alfred Roll - 75849 PARIS Cedex 17 - Tél. 01 44 01 47 01 - www.unicem.fr