

DIREN BASSE-NORMANDIE

***POUR UNE REMISE EN ETAT
PLUS ECOLOGIQUE DES CARRIERES
DE ROCHES MASSIVES :***

*principes
et guide
technique*

INTRODUCTION

L'objectif majeur de ce guide est d'aider à la remise en état des anciennes carrières, d'une part, et de prévenir des lacunes ou des erreurs dans la mise au point des projets d'exploitation d'autre part. Bien des remises en état de carrières n'optimisent pas les possibilités offertes par les connaissances et techniques contemporaines pour en valoriser l'intérêt ultérieur. Des espaces d'une grande potentialité pour ce qu'on appelle parfois, du nom d'un programme de recherche contemporain, la "recréation de la nature", ou possédant déjà des paysages pittoresques ou une valeur patrimoniale, sont ainsi perturbés à répétition lors de tentatives de remise en état. Les dispositions réglementaires obligatoires doivent conduire au contraire à se limiter à des interventions pertinentes.

Celles-ci doivent le plus souvent être envisagées durant l'exploitation elle-même, sous peine de "rater" des opportunités ou de ne pouvoir être réalisées au moindre coût.

Ce guide se limite néanmoins à une approche essentiellement biologique, sans prétendre remettre en cause l'incontournable sécurité du site, et s'inscrit dans le contexte réglementaire des installations classées, le contexte foncier étant celui du foretage ou de la propriété.

D'autre part, il ne portera que sur les carrières de roches massives, laissant volontairement de côté le thème plus souvent traité des carrières alluvionnaires.

Après plusieurs chapitres de présentation générale consacrés à une "mise à niveau" des connaissances, en particulier des notions en écologie théorique et pratique, un certain nombre de fiches pratiques par types de milieu présents dans ces carrières en présenteront la mise en œuvre. Quelques considérations paysagères complètent in fine ce document.

Une bonne connaissance des milieux, et des enjeux qu'ils sous-tendent, doit guider les carriers dans les choix et l'organisation. Lors des dossiers d'autorisation, nombre de précautions peuvent déjà être envisagées par anticipation, avec le phasage et la représentation spatiale de l'exploitation. A travers zonages et interventions dans le temps, les remises en état bénéficieront des connaissances disponibles en matière de reconquête des milieux perturbés par la faune et la flore, et s'orienteront ainsi sur une démarche de synthèse, intégrant les dimensions paysagère, utilitaire, patrimoniale et écologique dans un concept global.

Le paysagiste, de par sa compétence, intervient pour procurer une harmonie et une cohérence visuelle et culturelle au site. Il n'intègre des notions d'écologie que de manière marginale, à moins qu'il ne s'agisse d'un parti pris, même s'il contribue en général à l'étape de réhabilitation des sites perturbés. **Si les intégrations paysagères peuvent être très réussies en appliquant des techniques classiques et une approche d'homme de l'art, elles ne garantissent en aucun cas la "renaturation" réelle d'un espace artificiel.** Il s'agira parfois seulement d'un nouvel artifice, essentiellement composé de végétal ("espace vert") mais sans intérêt autre que visuel, auquel on juxtapose le cas échéant des objectifs de loisirs (pêche, promenade, sports d'escalade...).

L'optimisation de la remise en état part de deux constats :

- des milieux naturels ou semi-naturels (même s'ils sont entretenus par l'homme) disparaissent souvent lors de la mise en exploitation ou au cours de l'extension ; leur reconstitution peut être aisée ou aléatoire, selon leur complexité ; au moins peut-on tenter d'en régénérer des échantillons. Dans le contexte d'érosion de la biodiversité et des habitats, cet objectif devient primordial.

- les carrières constituent, après abandon, l'une des principales catégories de milieux "neufs" ou "en voie de reconquête" pour la nature ; bien souvent, lorsque la remise en état agricole n'est pas possible, il s'agit alors des seuls sites ayant de telles potentialités dans un

contexte très artificialisé (agriculture intensive, en général). Cette opportunité mérite d'être considérée à sa juste valeur et d'accompagner les interventions de type uniquement "paysagistes".

On développera donc dans ce document, de manière insistante, les argumentations et informations "naturalistes", dans le contexte des contraintes propres à l'exploitation des carrières et des objectifs paysagers, qui n'en restent pas moins incontournables. Les milieux spécifiquement créés par les carrières sont eux-mêmes la base des opportunités que nous préconiserons de saisir. On se limitera aussi aux carrières de roches massives ou de matériaux meubles hors d'eau, quoique nombre de recommandations puissent s'appliquer également aux sablières.

En résumé, distinguons entre réaménagement et remise en état : le premier terme constitue un choix destiné à mettre en conformité la carrière avec une vocation qu'on lui affecte, le second terme, en quelque sorte moins présomptueux, valorise la carrière de diverses manières, y compris sans y toucher, pourvu que sa dynamique naturelle soit bonne. La remise en état est une notion quasi-réglementaire, dont les modalités doivent être annoncées et justifiées, elle n'implique pas toujours un "réaménagement" partiel ou total du site.

NOTIONS A CONNAITRE

CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET FONCIER

Les premiers textes réglementaires datent des années 70. Actuellement, la loi du 19 juillet 1976 modifiée, relative aux installations classées et le décret d'application du 21 septembre 1997 ont prévu l'obligation (qui s'applique aux carrières depuis 1979, et a été repris dans la loi du 4 janvier 1993) de "remise en état" des lieux après exploitation (avec garanties financières).

La remise en état doit se concevoir et se réaliser dans le strict respect des règles de sécurité des carrières :

-l'article 34-1 du décret précise que *"l'exploitant remet son site dans un état tel qu'il ne s'y manifeste aucun des dangers ou inconvénients mentionnés à l'article 1er de la loi..."*.

-l'article 1er mentionne *"des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et monuments."* Au vu de la jurisprudence, cette obligation n'est pas synonyme de remise du site dans un état équivalent à l'état antérieur à l'exploitation. D'ailleurs une lecture intelligente du texte admettra qu'une remise en état orientée vers un autre statut ou une autre configuration que le statut initial des lieux peut répondre aux objectifs, pourvu que soient saines et sauves les préconisations listées (santé, salubrité, sécurité, inconvénients pour l'agriculture, la protection de la nature...). On remarque aussi que le texte utilise "soit" (conjonction d'alternative) et non pas "et", ce qui indique que dans la plupart des cas, il peut y avoir un choix, déterminé par le contexte, dans l'orientation dominante lors de la remise en état.

L'arrêté du 22/09/1994 prévoit en son article 12.2 : *"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 plus d'utilité après 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."* La référence au paysage conditionne la remise en état, dans la mesure où l'esthétique du site remanié doit être étudiée et optimisée, mais dans le contexte d'une "vocation ultérieure" qui est laissée ici à la discrétion du pétitionnaire...La circulaire du 2 juillet 1996 distingue "remise en état" et "réaménagement", mais il paraît illusoire dans les faits, d'établir une frontière étanche entre ces deux notions qui seront dans la quasi-totalité des circonstances, étroitement imbriquées ; la valorisation des lieux est souvent liée à une affectation déterminée dans le projet de remise en état, et la remise en état n'est pas plus que le réaménagement à confondre avec un retour à l'affectation originelle des lieux.

La maîtrise foncière du site peut largement influencer la marge de manœuvre dont disposera le carrier pour la remise en état (choix de vocation du site...) et ses effets induits (choix de gestion,...) :

- s'il est propriétaire, il maîtrise aussi ce devenir ;
- s'il a un bail d'exploitation (foretage), le site lui "échappe" en fin d'exploitation et la remise en état ne peut être entreprise qu'en tenant compte des desiderata du ou des propriétaire(s), que ce soit une collectivité locale ou un privé.

Par ailleurs, dans tous les cas, on accordera une attention particulière à toutes les réglementations qui peuvent influencer sur les modalités de remise en état (protection du milieu aquatique, impacts sur l'environnement, respects du PLU ou du POS...).

INDETERMINATION : DES SCENARIOS AUX "ZONES BLANCHES"

L'article 6-1 de la loi précise que pour les carrières, les mesures de remise en état figurent dans l'autorisation initiale. Cette disposition peut poser problème. En effet, il est tout à fait envisageable (et même hautement probable) qu'au moment de l'arrêté d'autorisation, ni l'exploitant, ni les services de l'Etat, ne disposent d'informations prospectives suffisantes pour

intégrer toute l'évolution ultérieure du site (en particulier les processus de renaturation spontanée) en cours d'exploitation et au fur et à mesure de l'apparition de surfaces délaissées. Seules des hypothèses et des scénarios sont possibles, grevés d'incertitudes.

Le réaménagement doit donc pouvoir être progressif et étendu selon les phases de l'exploitation, avec une possibilité de choix aux diverses étapes de celle-ci.

Dans cet univers flou de décision, il sera préférable d'éviter des niveaux de détail excessifs dans les préconisations, voire d'introduire volontairement (et en l'expliquant) non seulement divers scénarii, mais des "zones blanches", au sein desquelles le devenir du site sera affiché ultérieurement comme devant tenir compte des processus en question. Cela peut influencer par exemple, la gestion des eaux et les réaménagements paysagers.

Ces zones blanches seront évidemment accompagnées de dates de références intermédiaires, où leur devenir devra être précisé, et à l'occasion desquelles ce devenir sera "calé" en fonction de divers paramètres (renaturation spontanée, mais aussi revendications de voisinage, disponibilité de matériaux, modifications dans le rythme ou le phasage de l'exploitation). Les dates en questions peuvent assez aisément être définies en intégrant à la fois le phasage prévisible de l'exploitation, et le rythme connu des processus de cicatrisation et de renaturation spontanées.

Le fait de laisser des zones blanches ne doit en rien modifier l'engagement de l'exploitant à remettre en état le site, donc l'orientation principale affichée pour obtenir l'autorisation, mais cela peut diversifier et nuancer dans le détail cet engagement. Ainsi conçu, le dispositif législatif bénéficiera d'une souplesse de mise en œuvre préférable à une application rigide et linéaire des textes.

Il appartient du reste, en particulier, à l'étude d'impact, de trouver le bon équilibre entre la responsabilité de l'engagement suffisamment concret et démonstratif, et le caractère évolutif des lieux et des dispositions dans le futur, compte tenu également des surfaces disponibles *in fine*. L'assimilation des recommandations du présent guide, ainsi que celles de divers documents récents relatifs aux projets de carrières et à leur remise en état (cf. bibliographie), permettra en général d'être à la fois suffisamment explicite, précis, lorsque c'est nécessaire, et de préciser les variantes possibles, ou les "zones blanches", lorsqu'elles sont préférables, en montrant pourquoi c'est le cas.

Quant au montant des garanties financières, leur évaluation est naturellement soumise à une marge d'appréciation, avec un montant réservé pour imprévus et impondérables, qui suffira dans la plupart des cas à couvrir les aléas ainsi volontairement introduits dans le dispositif de réaménagement. Cette remarque vaut d'autant plus que la prise en compte de processus spontanés aura tendance à réduire les coûts, non à les augmenter, au moins en ce qui concerne les coûts de végétalisation.

Des exceptions peuvent toutefois se présenter, en particulier si les dispositions nouvelles prévoient du génie écologique (par exemple des déplacements d'espèces ou de micro-habitats) ou induisent des déplacements supplémentaires de matériaux.

ÉCOLOGIE APPLIQUÉE AUX CAS DES CARRIÈRES

Une connaissance très superficielle de l'écologie ne suffit pas lors des décisions et des schémas stratégiques d'aménagement et de gestion dans le temps des remises en état.

Le présent chapitre fournit quelques définitions de base, pour comprendre et utiliser ces notions, qui seront concrétisées dans les principes d'aménagement de chacune des fiches.¹

On gardera à l'esprit que deux objectifs fondamentaux guident le praticien dans la restauration ou la réhabilitation d'un site :

- l'optimisation de la biodiversité conjointement à une structuration naturelle des relations entre espèces (ces deux aspects étant intimement liés, sous peine de générer une diversité artificielle sans stabilité, pouvant engendrer des effets pervers)
- la sauvegarde et la récupération des espèces d'intérêt patrimonial.

Selon chaque rubrique thématique, on distinguera :

- l** notions d'écologie fondamentale ou appliquée
- k** conseils de gestion ou d'aménagement

Notions fondamentales sur les espèces

Territoire, phénomènes d'expansion des populations :

l Chaque espèce animale ou végétale possède une répartition donnée, dépendant des conditions climatiques, latitudinales, ... favorables ou défavorables. Une aire disjointe est située à distance du reste de l'aire de répartition de l'espèce, et à ce titre, dans cette aire, l'espèce mérite d'être considérée avec un soin particulier voire préservée, même si elle est fréquente ailleurs. Il en est de même lorsqu'on se trouve en limite d'aire de répartition. A contrario, on ne trouve pas n'importe quoi n'importe où.

l Pour la faune, au sein de l'aire de répartition, chaque individu (ou couple en période de reproduction, ou groupe pour les espèces grégaires*) d'une espèce, reste pendant un temps déterminé au sein d'un territoire donné. La taille du territoire, propre à l'espèce, peut être très variée. Une carrière de petite taille peut ne constituer qu'un fragment de territoire, auquel cas elle est reliée aux milieux avoisinants par des liens "fonctionnels". Exemples : les fissures d'une paroi rocheuse de carrière peuvent abriter des chauves-souris, en repos dans la journée, qui, la nuit, vont capturer des insectes dans le bocage environnant ; une anfractuosité de front de taille peut accueillir l'aire d'un couple de rapaces rupestres qui y élèvera ses jeunes, tandis que son territoire de chasse sera extérieur à la carrière...

l Pour la flore, au sein d'une même espèce, des populations peuvent être génétiquement différentes des voisines par une adaptation fine à tel milieu présent localement, combinant des conditions de sol, de climat et de pente, par exemple. Il s'agit d'écotypes*.

Notions sur la dynamique des populations

l extension ou colonisation de nouveaux sites :

¹ Dans ce chapitre et dans le reste du document, on utilisera la nomenclature scientifique des espèces végétales selon l'index synonymique de la flore de France de Kerguelen. La nomenclature des espèces animales suit les mises à jour du Service du Patrimoine Naturel du MNHN.

Oiseaux, et mammifères, mais aussi batraciens et insectes, colonisent aisément des sites distants les uns des autres, comme les carrières des milieux naturels environnants, en particulier à l'occasion des déplacements migratoires et en période de reproduction. Ils véhiculent en même temps des graines parfois même des boutures de végétaux qu'ils disséminent. De très nombreuses espèces d'herbacées, de buissons et d'arbustes, sont transportées par les oiseaux, en particulier les végétaux à baies, à graines épineuses, à graines consommées (certaines tombent du bec des oiseaux en cours de route et surtout, des graines non digérées sont retrouvées dans les déjections). La végétation se dissémine aussi (et surtout, dans le cas des carrières) sous l'effet du vent, secondairement des eaux de ruissellement. Une carrière abandonnée va être très rapidement colonisée par des quantités d'espèces animales ou végétales, la majorité seront des espèces banales (fréquentes) mais certaines peuvent être exceptionnelles et rares. La proportion d'espèces exceptionnelles est sensée augmenter au fil du temps, pour des raisons purement statistiques, et grâce au développement numérique des populations, à leur recherche de nouveaux territoires, par le jeu des divers déplacements de proche en proche, y compris d'origine alimentaire.

Exemples : les bouleaux (espèces anémochores*), les ronces (dissémination par des oiseaux frugivores*), les cotoneasters (oiseaux baccivores*).

Nombre d'herbiers aquatiques peuvent être introduits par les oiseaux d'eau dans les étangs et pièces d'eau artificielles.

Les roseaux et les massettes, végétaux très prolifiques de certaines zones humides, sont également disséminés par le vent et par l'eau.

l Dissémination par propagation in situ : la plupart des autres végétaux présentent des stratégies d'expansion de proche en proche. Ainsi, le genêt dissémine ses graines en faisant éclater violemment ses gousses. Le pin dissémine ses graines à l'occasion des chutes de pommes de pin qui roulent sur le sol puis dont les écailles s'écartent à maturité (outre le rôle des écureuils et de certains oiseaux). Beaucoup d'herbacées se propagent sous une forme dite "végétative" (sans production de graines) par stolons rampants sur le sol (agrostide rampante, roseau...).

k Intérêt de conserver des "sources" (îlots boisés, fragments de friches, petites pièces d'eau, fossés...) non perturbées, ou de créer des délaissés "durables", pendant l'exploitation : ces zones où persistent des espèces (animales ou végétales) sauvages, d'origine, ou bien des espèces qui sont revenues depuis les environs, vont permettre une "renaturation" plus rapide du site après abandon, si celui-ci n'est pas l'occasion de tout ensevelir sous un remblai.

k Intérêt des "corridors" pour la dissémination et les échanges au sein des populations et entre les populations : ces zones plus ou moins étroites préservent des possibilités de passage pour la faune et de dispersion pour la flore, entre des espaces perturbés ou transformés. On pensera aux haies, aux fossés, aux cours d'eau, aux bandes enherbées, aux bandes boisées...

l Modèles spatiaux de végétation spontanée : il s'agit de mosaïques, gradients, ceintures concentriques, irrégularités, taches et "peaux de léopard"... - qui se calent souvent sur les structures physiques (cas de l'érosion en zones meubles - cas des roches pourvues de schistosité).

Séquences dans le temps : la structure du milieu colonisé progressivement impose au paysage des séquences spatiales (succession dans l'espace de stades différents) qui correspond à la succession dans le temps. Un paysage "naturel" comporte souvent de telles catégories de structures.

Séquences liées au relief et aux sols : de la même façon, les variations progressives de taille ou de composition des matériaux constitutifs des éboulis et des formations géologiques naturelles induisent des séquences de paysages végétaux diversifiées.

Répartition aléatoire ou en agrégats (cf. ci-dessus colonisation) : en raison de leur mode de dispersion, beaucoup de végétaux occupent l'espace de manière structurée. Ainsi, genêt, molinie,

canche, ronces, fougère grand-aigle, bouleau, pin, nénuphars, saules, vont constituer des "taches", "plages", "colonies", "bosquets", "ceintures", etc...qu'un paysagiste tentera de reproduire (avec des végétaux identiques ou différents) pour "faire naturel". Dans bien des cas, c'est une dépense d'énergie inutile puisque la nature obtiendra le même résultat avec seulement un peu plus de temps.

Impact de la faune sur ces patterns : les fousseurs (tonsures de lapins) et les disséminateurs (oiseaux et dissémination décroissante à partir des perchoirs et des nids...) renforcent ou affaiblissent ces structures d'origine végétale.

k Intérêt de s'inspirer des modèles existants dans la nature (effet "naturel") pour la réhabilitation paysagère : la perception obtenue in fine s'inscrira beaucoup mieux dans le site et évitera de tomber dans le travers du "pastiche" ou du "modèle urbain".

C'est donc une excellente manière de "renaturer" une carrière.

On évitera donc, en cours ou en fin d'exploitation, d'oublier les potentialités du site liées à l'établissement de structures naturelles (aléatoire, en aggrégats, etc...) en "effaçant" de manière intempestive les phases pionnières de ces processus. Il en est de même en matière de respect des structures diversifiées constitutives de la géomorphologie locale.

Notions pratiques sur les plantations :

Les plantations sont une technique de base du paysagement des sites en cours d'exploitation ou en fin d'exploitation. Un certain nombre de règles utiles sont à respecter sur la base des notions suivantes.

I Espèces allochtones ou autochtones :

k Intérêt de privilégier les essences locales (adaptation au milieu). L'introduction d'individus d'autres populations (produits par exemple en pépinière) n'est pas toujours positive, car ces végétaux sont moins bien adaptés. La sélection génétique pratiquée en horticulture ne se donne pas pour objectif de respecter la diversité génétique. La plasticité et les capacités d'acclimatation des espèces, parfois importantes, permettent de "tromper" la nature, mais avec le risque de créer un paysage artificiel et qui ne s'auto-entretient pas forcément (espèces ou variétés stériles, ou non fructifères sous le climat local).

k En revanche, on ne peut nier dans nombre de cas certains intérêts des exotiques : apport paysager - intérêt biologique (plantes mellifères, etc...).

I Rapport au milieu :

Le type de sol est primordial, en particulier l'opposition entre sol acide et sol basique ou neutre, qui sélectionne des espèces souvent très différentes. Le degré d'humidité voire d'hydromorphie* constitue une autre contrainte fondamentale. Beaucoup de ligneux (buissons et arbres) portent des mycorrhizes (organes de symbiose* avec un champignon ou une bactérie) qui les aident à croître même en conditions difficiles. Un sol où ces espèces ont déjà prospéré est en général pourvu des champignons nécessaires et sera donc plus favorable aux jeunes plants. C'est une des raisons de recouvrir avant plantation avec le sol d'origine (terre de découverte). Cependant, le temps de stockage des terres de découverte est souvent trop prolongé pour préserver toutes les qualités biologiques du sol.

L'humus induit par les premiers végétaux en place sur un milieu vierge favorise la constitution d'un sol qui sera utilisé par d'autres espèces. Des milieux "secondaires" ainsi créés, favorables à d'autres espèces, vont éliminer les premiers installés. C'est un des mécanismes de la "succession* végétale" (voir ci-après).

k Qu'ils soient autochtones ou exotiques, on doit n'introduire des végétaux qu'en fonction d'une adéquation au sol et au climat.

Notions sur le fonctionnement des milieux

I les trois pôles stratégiques des espèces végétales :

on distingue depuis les années 70 trois stratégies de base des végétaux sauvages : plantes *tolérantes aux contraintes* - plantes *adaptées aux perturbations* - plantes *compétitives*. Les premières colonisent les milieux difficiles, comme les dalles rocheuses sèches et peu pourvues de sol. Les secondes colonisent les espaces régulièrement remaniés, comme les zones de stockage, les parois en cours d'exploitation, les terrils provisoires. Les troisièmes se trouveront surtout dans les milieux tranquilles, stables, et plus favorisés (zones humides, sols profonds...).

I notion de végétaux pionniers :

dans les milieux nouveaux, les végétaux sont dits "pionniers" : ils ont des caractéristiques biologiques leur permettant de s'établir plus ou moins précocement et de se reproduire en conditions souvent drastiques. C'est le cas de nombre de plantes annuelles et bisannuelles - pâturin (*Poa*), jonc (*Juncus*), spergule (*Spergula*), renouée (*Polygonum*), bident (*Bidens*)...

Si le milieu est plus favorable (riche en eau et/ou en nutriments*, et pourvu d'un substrat meuble, relativement stable dans le temps) des plantes pérennes compétitives* (hélrophytes*, ronces, fougère grand-aigle...) vont proliférer plus vite que les autres et prendre le dessus. Leur provenance plus ou moins aléatoire peut ainsi expliquer des différences importantes de développement végétal d'une carrière à l'autre.

Cas des délaissés en pente forte : l'érosion liée au ruissellement, les éboulements, "rajeunissent" périodiquement le milieu et tendent à contrarier la dynamique de colonisation spontanée.

Cas des zones inondées : le maintien en eau même en période estivale induit des conditions très favorables à la végétation aquatique et palustre, souvent composée par quelques espèces compétitives*.

Cas des replats compactés : la nature très ingrate de ce type de substrat (pénétration difficile des racines, sol asphyxique) bloque la reconquête végétale spontanée parfois pendant des années.

Cas des fronts de taille verticaux : importance de la structure et de la nature de la roche (faillée et fissurée, type de cassure, roche compacte, altérable, orientation de la schistosité...).

I Contrôle de la végétation par les consommateurs primaires* :

impact lors de la recolonisation : ralentissement, sélection

L'impact des animaux sur le couvert végétal est considérable également sur le plan du contrôle. La lenteur du développement des landes, des friches arbustives et des boisements dans certains sites peut être due pour une large part à la consommation effectuée par les herbivores.

Exemples: lapin et broutage des ajoncs et graminées, grand gibier et consommation de jeunes plants.

Cet impact est un élément de maintien de milieux dits "ouverts" (stade herbacée, faible densité d'ombrage par les arbres et arbustes) et, par là, d'entretien d'une fraction de la biodiversité*. C'est également un élément du fonctionnement des réseaux alimentaires au sein des systèmes naturels (écosystèmes*).

I intérêt du pâturage comme entretien : dans les régions de prairies, le pâturage par les moutons, bovins..., d'intérêt économique, est aujourd'hui largement reconnu comme facteur d'entretien et de stabilisation des milieux non cultivés, qui en son absence seraient rapidement boisés ("fermeture" du paysage). C'est en particulier le cas des friches calcaires, des prairies permanentes abandonnées, des pelouses sèches, parfois des restes de landes.

k La **gestion par le pâturage** après abandon de l'exploitation d'une carrière est un outil à privilégier lorsque des possibilités existent avec les exploitants agricoles locaux.

k **contrôle par intervention humaine directe** (fauche, taille, ...) : celui-ci est parfois inévitable pour maintenir un milieu ouvert. Du fait des caractères du sol artificiel que constituent les stériles, remblais et déblais, il est fréquent de les voir rapidement s'embroussailler, alors que les premiers stades (ensoleillés) constituent des milieux de prédilection pour de multiples espèces animales et végétales qui se raréfient en même temps que ces milieux sont boisés ou détruits par l'agriculture contemporaine. Le contrôle de cet embroussaillage est donc un réel défi de gestionnaire pour tous les sites délaissés ou abandonnés.

I Séries de végétation :

processus de succession : il s'agit d'un processus au cours duquel, spontanément, par le jeu des mécanismes naturels, les espèces se succèdent jusqu'à un équilibre qu'on appelle climax* ou pseudoclimax*. Cette évolution dure souvent très longtemps. On peut donc, par des interventions ad hoc, court-circuiter les étapes et fabriquer un milieu "quasi-climacique" : plantations, préparation du sol, etc... En fait, il ne s'agit en général que d'une pâle copie du vrai climax*, car le nombre d'espèces est très inférieur ou la proportion n'est pas la même.

Effets induits sur le paysage : lorsqu'on abandonne un site, chaque milieu va changer au cours du temps, passant du sol nu à la pelouse, à la friche herbacée haute, puis au fourré et enfin au boisement. Cette succession* théorique présente de nombreuses variantes, et même parfois des phases régressives*. Les différences induites par les conditions initiales du milieu : sol, microclimat, instabilité... créent des divergences de trajectoires et contribuent à la diversité du couvert végétal. Dans une carrière, beaucoup de milieu sont impropres à parvenir au stade climax à l'échelle humaine, certains n'y parviendront jamais. Les interventions anthropiques* (cas du pin) peuvent faciliter le boisement ou le dévier vers des espèces non totalement spontanées.

k On veillera à respecter autant que faire se peut, à favoriser ou reproduire des phases de colonisation présentes dans les environs (ou au moins, similaires).

I Prémption de niche en succession végétale :

la prémption de niche consiste en l'occupation de l'espace disponible (souvent récemment "créé"), par une espèce très dynamique qui va l'occuper et empêcher l'installation ultérieure d'autres espèces.

Des phénomènes de toxicité, d'ombrage, de saturation de l'espace ou d'accumulation de litière (feuilles mortes) peuvent expliquer ce type de blocage de la succession.

Dans ce cas, le paysage peut rester très longtemps identique à lui-même sans donner l'impression d'évoluer.

I Trajectoires imprévisibles :

la nature est rarement prévisible. Dans la plupart des circonstances, plusieurs dynamiques sont possibles, sans que même un spécialiste puisse dire *a priori* laquelle présente la plus forte probabilité. En conséquence, un paysage "naturel" reste du domaine de l'incertitude, avec des tendances que l'on peut décrire mais avec beaucoup de prudence.

k **Ainsi, on évitera dans les dossiers de réhabilitation ou les études d'impact de prétendre préjuger de la capacité réelle de tel ou tel milieu à la reconquête spontanée, ou de la nature exacte des espèces constitutives dans le futur, de la présence d'espèces remarquables après abandon du site, des abondances et proportions des espèces qui vont apparaître, si ce n'est dans les grandes lignes et selon les indications des espaces analogues existants.**

k **Une bonne précaution** pour favoriser la biodiversité et les aptitudes à enrichir un site sur le plan naturaliste consiste à offrir en fin d'exploitation la plus grande diversité possible de milieux à des anciennetés différentes d'abandon.

k Limites de l'intervention systématique

effets pervers de la "végétalisation à tout prix" :

Cas des engazonnements : ils imposent une végétation standard, composée d'espèces ou de variétés étrangères.

Cas du boisement : il impose le stade boisé et élimine de ce fait des stades intermédiaires et des stades pionniers souvent favorables à la biodiversité*. Il impose aussi des choix d'espèces dont l'intérêt paysager, écologique et récréatif ne sont pas nécessairement supérieurs ni égaux à ceux des espèces spontanées.

effets pervers de l'ameublissement du sol : il favorise les espèces banales souvent largement présentes dans les environs du site sur des terrains agricoles.

effets pervers de la couverture en "terre végétale" (qu'elle soit d'origine - terre de découverte - ou importée) : mêmes conséquences.

l Notions de rareté et espèces patrimoniales :

nombre d'espèces exigeantes sur le plan écologique (nature du sol, du microclimat, reproduction très délicate, dépendance d'autres espèces...) sont rares ou localisées à une aire de répartition très définie. Le degré de rareté est un élément important de la valeur des espèces, et donc des milieux qui les accueillent. Les atlas de répartition et les inventaires permettent de cerner ces caractéristiques. Mais un inventaire n'est jamais définitif (la répartition des espèces change constamment) et n'est jamais complet à coup sûr (pour des raisons d'échantillonnage). La réglementation - listes d'espèces protégées aux niveaux départemental, régional, national et européen, liste d'habitats d'intérêt communautaire, dont ceux qui sont prioritaires, au titre de la Directive "Habitats" - ne comprend pas la totalité des espèces ou milieux rares ou exceptionnels. Il s'agit de listes restrictives et sélectives. C'est pourquoi les spécialistes ont éprouvé le besoin d'établir des "listes rouges", qui, quoique sans valeur réglementaire, ont une valeur scientifique, et permettent de connaître l'ensemble des espèces ou habitats menacés ou rares à une échelle géographique donnée.

l Ecotones* et zones de lisière :

en fait, bien souvent, la valeur d'un site naturel dépend autant des zones de transition entre milieux différents que des milieux identifiables.

k Ces zones de transition présentent souvent une grande *diversité spécifique** et méritent d'être traitées avec soin (le moins possible perturbées). Exemples : fossés, bocage(haies, talus, murets), roselières, rives contournées, îlots : types de paysages à favoriser dans les carrières, surtout en fin d'exploitation.

Comme on peut le voir sur le schéma ci-contre, il est pour le moins délicat d'imaginer correctement les étapes d'une reconquête végétale naturelle (c'est à dire spontanée) sur des milieux artificiels. La prévisibilité, en la matière, reste, même avec nos connaissances de la dynamique naturelle, en partie hors d'atteinte, d'autant que pour une part, les phénomènes naturels peuvent être intrinsèquement imprédictibles (cf. comportement "chaotique").

Temps t=0 : une carrière supposée (pour les besoins de la démonstration) entièrement "libérée" de toute extraction d'un seul coup. Elle présente des milieux différents : plate-forme hydromorphe, mare, pente compactée, paroi verticale entamée sous un haut de colline, et revers intact (lande sèche puis fourré à chêne pédonculé et noisetier).

Temps t+1 : (un an écoulé). La colonisation peut "émerger" très vite. Les premiers indices de présence végétale sont des herbacées (joncs, agrostide et glycérie, par exemple) à gauche du profil, un jeune saule en bord de mare, des joncs des crapauds en pied de paroi, sous influence humide (résurgence). On pourrait croire possible de discerner à ce stade la suite des événements : boisement en pourtour de mare, extension d'une friche herbacée ailleurs, maintien durable de la paroi verticale sous un aspect "minéral".

Temps t+2 : les flèches désignent des points-clés de l'innovation végétale. Dans la prairie humide de gauche apparaissent des jeunes saules, et dans la mare un pied de massette (*Typha*) dont la graine plumeuse a sans doute été semée là par le vent. De l'autre côté de la mare, contrairement aux prévisions, le jeune saule a crevé (cet échec de germinations arbustives est plus fréquent qu'on ne le pense). En revanche, des joncs et divers végétaux de ceinture marécageuse apparaissent. En haut de pente, des bruyères s'insèrent au milieu des joncs (bruyère ciliée par exemple, surtout si la pente est orientée à l'Ouest) et un saule apparaît également en lisière : ces éléments n'étaient pas "prévisibles" au regard de l'observateur l'année précédente. Si la paroi reste intacte, en revanche la lande sèche sommitale s'étend progressivement en surplomb au-dessus d'elle.

Pourquoi le reste de la pente n'est-il pas modifié ? Sans doute un degré de compaction tel, associé au ruissellement, que ces contraintes freinent et empêchent la reconquête. Il faut d'abord que l'érosion fasse son œuvre. Ce délai d'origine "physique" est très difficile à évaluer.

Temps t+4 : à gauche, les saules s'étalent au détriment de la prairie humide, la mare est totalement et brutalement envahie par la colonie de massettes : dans les deux cas, cette régression de la biodiversité qui n'est pas nécessairement bienvenue contrarie la venue ou le maintien de nombreuses espèces. Dans le cas de la mare, l'occupation massive de l'espace par une espèce compétitive qui empêche les "suivantes possibles" constitue une forme de ce qu'on appelle en écologie **préemption de niche**. Mais cette histoire n'était pas "écrite" d'avance : il a suffi d'une graine de massette, autant dire un "accident". En bas de falaise, la lande mésophile (moyennement humide) à bruyère ciliée s'étend et se densifie, mais les saules prennent le relais sur la pente. Ils ne peuvent plus coloniser la lande, devenue trop dense : cette priorité de fait que se donne la nature illustre des étapes irréversibles de la reconquête qui déterminent peu ou prou les suivantes... Un "détail" : sur la paroi, la touffe de graminée représente le premier témoin avancé de reconquête : un observateur innocent va en déduire, avec un raisonnement linéaire, que la colonisation est enfin en cours et va se poursuivre.

Temps t+6 : confirmation de deux séquences : étouffement de la prairie humide par les saules et couverture compacte de la mare. Celle-ci voit son niveau moyen baisser par assèchement (induit par la végétation). L'autre événement nouveau se tient dans l'éboulis du sommet de la paroi verticale : un "accident" sans doute généré à la fois par l'infiltration et le gel, et par les sécrétions et la pénétration des racines de la lande sommitale, qui accélèrent l'altération et la fragmentation. Du même coup voilà le milieu "rajeuni", retour en arrière aux yeux de l'observateur innocent. En pied de falaise, un "éboulis" se forme, propice à de futures colonisations... Il y a donc diversification des milieux (des "habitats"). Autrement dit, ces accidents génèrent des potentialités nouvelles et imprévues. Une action déterministe initiale (du type ensemencement de gazon par projection) aurait privé définitivement la carrière de ces bifurcations favorables à la biodiversité spontanée.

Temps t+10 : si la reconquête se ralentit naturellement, elle ne s'en poursuit pas moins. La prairie disparaît à gauche sous les arbres, aboutissant à un "cul-de-sac écologique" à diversité minimale (une ou deux espèces seulement). La végétation de la mare est stable, mais le niveau d'eau diminue toujours sous l'action de l'évapotranspiration, laissant présager d'éventuelles "bifurcations" ultérieures de trajectoire végétale liées au changement des conditions physiques : ainsi, la nature induit elle-même ses propres itinéraires. L'excavation en sommet de paroi est l'objet d'une conquête nouvelle par un semi-ligneux adapté aux micro-conditions thermiques, édaphiques et hydriques de cette cavité. Le reste de la carrière est presque totalement végétalisé naturellement : il a fallu attendre 10 ans, mais la biodiversité est alors certainement supérieure à ce qu'elle serait si tout avait été végétalisé artificiellement dès le départ. Des phases suivantes de notre reconquête en système virtuel ne sont pas représentées, mais nous laissons au lecteur tout le loisir de les imaginer pour son compte, faisant ainsi, à l'imitation de la nature, œuvre de scénariste.

Notons que dans une carrière "réelle", les divers sites se libérant à des moments distincts, une source supplémentaire de complexité s'exerce sur les processus de reconquête : le décalage dans le temps. Même s'il est d'autant plus délicat de "planifier" une végétalisation, celle-ci doit faire l'objet d'une réflexion prenant conjointement en considération les phases successives et la dynamique spontanée de chaque milieu, pour en déterminer les limites et les atouts. L'ingénieur écologue gardera à l'esprit, en utilisant les ressources de ses connaissances, qu'il vaut mieux favoriser la dynamique du vivant, ou du moins lui préserver le maximum de degrés de liberté, plutôt que le contrarier par un interventionnisme prématuré.

CHOISIR ET CONCEVOIR UNE REMISE EN ETAT : ETAPE DÉCISIVE DU SUCCES

APPORTS ET LIMITES DU GENIE ECOLOGIQUE DANS LA REMISE EN ETAT

Depuis quelques décennies, d'abord en Amérique du Nord puis en Europe, les milieux perturbés et anthropisés font l'objet d'expérimentations pour rétablir, reconstituer, restaurer, réhabiliter (diverses terminologies employées dont les sens exacts peuvent différer). Les plus récents travaux ont fait l'objet d'échanges entre chercheurs, praticiens et industriels (cf. bibliographie). "Recréer la nature" fait rêver, suscite de l'enthousiasme et pourrait venir fort à propos combler un vide face aux exigences de la législation (cf. "mesures compensatoires" des dossiers d'impact).

D'un côté, ces pratiques expérimentales créent peu à peu un bagage technico-scientifique utile, en fournissant des références pratiques qui affinent et élargissent à la fois les connaissances fondamentales et appliquées. Ainsi, se précisent par exemple les modes d'intervention possibles quant à l'usage des techniques horticoles (semis, bouturage, préparation du sol, etc...) dans la révégétalisation d'un espace dégradé.

De l'autre côté, ces expériences permettent de constater les limites de ce type d'intervention et les contraintes auxquelles elles se heurtent.

Les principaux acquis du génie écologique concernent la flore et la végétation, bien moins fréquemment la faune : en effet, celle-ci, de par ses aptitudes au déplacement, et ses sensibilités éthologiques*, requière ou supporte, selon les cas, moins souvent l'intervention humaine. Néanmoins, la restauration de milieu bénéficie directement ou indirectement en général à diverses catégories d'animaux (insectes, oiseaux, et autres vertébrés...).

On distinguera pour la commodité de présentation, et par ordre d'ambition décroissante, *reconstitution, restauration et réhabilitation* :

1) Reconstitution de milieu : *en milieu terrestre*, à condition de respecter les contraintes de sol et d'apports hydriques, on peut aisément reconstituer une végétation **d'allure** quasi-identique au milieu initial, ceci qu'il s'agisse de prairies ou de zones boisées, par exemple.

Il est plus délicat, pour ne pas dire impossible, de reconstituer à l'identique la **composition** même du tapis végétal, surtout s'il s'agissait d'une formation naturelle ou semi-naturelle (pelouse sèche, prairie, bois...). Les connaissances en termes d'écologie sont trop limitées, et surtout, la complexité des phénomènes en cause dans la présence et l'absence de certaines espèces est telle, qu'il est bien improbable de parvenir artificiellement à une "copie conforme" d'un fragment d'écosystème. La plupart du temps, des différences importantes par rapport au milieu initial subsisteront dans les listes d'espèces et leurs proportions, c'est à dire, dans la diversité biologique elle-même et dans l'intérêt patrimonial du milieu.

Les espèces dont il sera le plus délicat d'obtenir l'apparition, la multiplication, la pérennité, sont le plus souvent les plus exceptionnelles, précisément parce qu'elles supposent des conditions écologiques strictes et sélectives qu'il est rarement possible de respecter, d'autant qu'on en ignore divers paramètres. La plupart des espèces sont sensibles à tel ou tel facteur du milieu à un moment précis de leur cycle phénologique*. Si les conditions pour leur développement à ce stade de leur cycle ne sont pas remplies, leur reproduction, leur installation ou leur maintien sera voué à l'échec. On imagine les difficultés à garantir conjointement toutes ces conditions pour une série d'espèces dont certaines particulièrement rares, par exemple !

On évitera aussi de mobiliser des semences ou des plants dont la provenance est géographiquement éloignée du site, car dans la plupart des cas il s'agira de populations dont les caractères génétiques sont différents de la population initiale (sous-espèces, morphotypes*, écotypes* divers, etc...souvent encore imparfaitement connues).

En milieu humide, il est encore plus délicat de reproduire un milieu détruit ou de rétablir un milieu perturbé. Les dynamiques spontanées sont telles que la moindre différence dans les conditions ambiantes provoquera un grand écart dans la composition finale du milieu reconstitué. Le caractère "aléatoire" (et parfois chaotique) des colonisations végétales introduit une difficulté supplémentaire (voir la notion de "préemption de niche"*, par exemple, dans le chapitre précédent).

2) Restauration de milieu : on ambitionne de restaurer un milieu préexistant, c'est à dire de reproduire, autant que faire se peut, les diverses conditions (édaphiques*, hydriques*, microclimatiques, etc...) qui y régnaient. Compte tenu des profondes modifications engendrées la plupart du temps par les exploitations de carrières, la restauration d'un milieu préexistant est parfois hors d'atteinte, mais pas toujours. Il est possible de voir réapparaître des "systèmes" [sol-végétation] approximativement identiques à l'initial lorsque des milieux aux caractères semblables sont créés lors d'une exploitation : landes, fourrés, prairies... La composition spécifique sera alors peu différente de l'initiale, sauf en ce qui concerne les espèces exceptionnelles dont nous avons ci-dessus explicité le caractère délicat à obtenir. Tout au plus pourra-t-on espérer les voir apparaître à l'échelle de temps adéquate (quelques décennies, voire à l'échelle séculaire), sans commune mesure avec nos échelles de référence pour le réaménagement.

Une autre difficulté réside dans l'influence plus ou moins déterminante qu'ont les animaux, et parfois les pratiques humaines elles-mêmes, dans le maintien d'un milieu d'intérêt biologique : le pâturage, le broutage par les herbivores en général, entre dans cette catégorie. Il n'est pas toujours facile de reconstituer toutes ces conditions sur un site modifié durant une longue période de temps.

En milieu humide, l'interférence des consommateurs (ragondin, mais aussi par exemple, les canards et les foulques...) peut également prévaloir sur d'autres facteurs dans la composition de la végétation. Il en est de même en ce qui concerne les potentialités faunistiques (action déterminante des poissons prédateurs dans l'éradication de micro-populations de batraciens par exemple).

3) Réhabilitation : réhabiliter ne signifie pas reconstituer à l'identique, mais conférer au site final une "valeur" biologique susceptible au moins d'atteindre une valeur patrimoniale équivalente(?) aux milieux initiaux. Nonobstant les **difficultés de principe** de cette notion, on imagine qu'il sera possible de créer un milieu nouveau, au moins aussi riche biologiquement que l'initial. C'est ce qu'envisage dans la plupart des cas le technicien confronté à une transformation radicale d'un site.

Toutes les difficultés précédentes restent valables pour une réhabilitation, mais l'ambition étant plus modeste, on peut espérer obtenir une situation acceptable, offrant une bonne diversité biologique et/ou la présence de populations de certaines espèces (animales ou végétales) peu fréquentes ou menacées ailleurs. Dans ce dernier cas, l'ancienne carrière joue aussi le rôle de milieu refuge ("milieu naturel artificiel") par rapport à un environnement parfois passablement artificialisé. Il s'agit là incontestablement d'un atout des sites de carrière en fin d'exploitation, mais tout en gardant à l'esprit que la biodiversité en question doit être définie (structure et agencement des espèces et des populations : une friche de terrain vague régulièrement perturbée peut être riche en espèces mais sans valeur biologique notable !).

Le génie écologique permet aujourd'hui :

- de définir globalement les **conditions** (physiques et biologiques) qui déterminent la nature d'un milieu et la probabilité de présence d'une espèce animale ou végétale ;
- de définir des **moyens techniques** à même de favoriser ou de recréer ces conditions compte tenu des contraintes de coût et de délai ;
- de choisir les **modalités pratiques** pour mettre en œuvre ces techniques (chronologie, engins, nature et origine des matériaux, modalités de mise en place, etc...).

En revanche, sauf à faire appel à l'introduction artificielle, point traité ci-après, le génie écologique ne peut prétendre *a priori* :

- garantir la présence d'une espèce déterminée en un emplacement déterminé ;
- définir d'avance la liste des espèces qui composeront le fragment d'écosystème à telle ou telle échéance dans le temps.

Il importe enfin d'avoir à l'esprit que, si la création *ex abrupto* d'un milieu nouveau ou proche de l'initial est maîtrisable, en revanche **son devenir, c'est à dire le processus de succession écologique** qui va s'y exercer et le faire évoluer spontanément vers des stades ultérieurs, conformément aux situations naturelles, est bien plus difficile à anticiper et, *a fortiori*, à réguler. Il est parfois délicat d'autre part, de garantir la disponibilité des moyens financiers et techniques nécessaires à la régulation (par exemple, éviter l'embroussaillage du site, ou dans une pièce d'eau, son envahissement par une espèce très compétitive...).

En conclusion, lorsqu'on fait appel au génie écologique, il importe donc de mobiliser les **compétences ad hoc** (spécialistes), de s'assurer la possibilité de mobiliser les **moyens** nécessaires parfois importants, et d'afficher dès le départ les **limites** du projet (en particulier, laisser une place à l'incertitude et aux possibilités de variantes dans le résultat, donc raisonner en termes de probabilités).

Cas particulier des introductions, et transferts d'espèces animales ou végétales :

Il est de plus en plus fréquent qu'une telle éventualité vienne à l'esprit des promoteurs dans les projets d'ouverture ou d'extension de carrières, surtout pour les espèces végétales.

Si un milieu situé sous l'emprise du projet constitue un élément d'intérêt biologique (ZNIEFF, avec espèces protégées et/ou patrimoniales, etc...), on envisage de déplacer l'élément clé, voire d'en reconstituer l'équivalent ailleurs (hors emprise).

Les techniques horticoles et les moyens disponibles en termes de génie civil permettent en effet des transplantations, des déplacements de sol, et la mise en place de maîtrise hydraulique, par exemple, qui autorisent théoriquement des interventions de cette nature.

Il importe de prendre alors en considération trois types de limites inhérentes à ce genre de solution :

* **les limites réglementaires** : aucune autorisation de prélèvement ou de déplacement d'espèce protégée n'est accordée par le Ministère de l'Environnement hormis celles nécessaires à des fins scientifiques ;

* **les limites techniques** : s'il est en général envisageable de restaurer un milieu à distance de son implantation première, en s'en donnant les moyens, il est beaucoup plus improbable de réussir la transplantation d'une espèce (*a fortiori* d'un ensemble d'espèces en proportions déterminées) dont les exigences écologiques sont très particulières - cas de la plupart des espèces d'intérêt patrimonial -. Sauf pour quelques espèces, très peu nombreuses parmi les espèces patrimoniales "sauvages", ayant fait l'objet de reproduction en laboratoire et en sites expérimentaux, il en est souvent de même pour une introduction ou une réintroduction.

* enfin, des **limites conceptuelles** : car il n'est pas d'évidence pertinent de focaliser l'intervention sur l'espèce, indépendamment de l'ensemble du milieu et des relations fonctionnelles (dissémination, compétition, action des herbivores, des prédateurs) qu'entretiennent les espèces constitutives avec d'autres milieux voisins. Maintenir la fonctionnalité du milieu est aussi important, comme indiqué à divers propos dans le chapitre précédent.

En tout état de cause, la maîtrise de ces procédés n'est assurée que par un petit nombre d'organismes, dont les Conservatoires Botaniques Nationaux pour les végétaux.

En conséquence, tant le contexte que la mobilisation des moyens et les incertitudes scientifiques amènent à *déconseiller fortement les exploitants de carrières et leurs conseillers techniques de s'aventurer dans le déplacement ou l'introduction d'espèces sauvages*, à l'exception :

- * des espèces ayant déjà fait l'objet d'une multiplication en pépinières (plants d'origine horticole) ;

- * d'espèces dont l'introduction ou la réintroduction seraient envisagées à l'occasion d'un programme scientifique (en général, dans le cadre de soutiens financiers et partenariats nationaux ou européens).

Dans le cas d'espèces plus répandues, qui constituent le "fond" de la végétation susceptible d'être endommagée, il pourrait être procédé à une collecte de graines et de plants, si la zone de prélèvement n'est pas une zone d'intérêt patrimonial. Moyennant un stockage ou une mise en culture temporaire, (dont les modalités répondent à des règles bien précises), on pourrait réemployer ces graines ou boutures au moment de la remise en état.

Dans la plupart des cas, une carrière engendre des transformations telles du relief, du paysage et des conditions physiques qu'il sera impossible de rétablir une situation analogue à l'état antérieur. En particulier, les contraintes foncières et de voisinage poussent de plus en plus les exploitants à approfondir les excavations plutôt qu'à étendre l'emprise, ce qui rend d'autant plus illusoire le rétablissement des caractères initiaux du site, même de façon approchée.

Plutôt que de rechercher une réinsertion problématique dans l'environnement, l'orientation privilégiera les **atouts nouveaux** que représente la carrière pour le secteur géographique ; en l'occurrence :

- * intérêt de l'apparition de nouveaux milieux qui, laissés à eux-mêmes en cours d'exploitation ou après le réaménagement, récupéreront progressivement les caractéristiques de "milieux naturels". Il est clair cependant que ceci suppose un minimum de conditions (de configuration physique du site, de substrat et de qualité des eaux) qui ne seront pas systématiquement réunies. Cette dernière orientation est néanmoins très fréquente, comme le montrent de multiples carrières abandonnées où d'intéressantes occasions de reconquête pour la flore et la faune sont observées. Bien souvent, à l'inverse, des interventions destinées à "paysager" le site contrarient de manière irréversible les potentialités qu'il présentait pour une "renaturation spontanée" (remblais intempestifs, engazonnement, reboisement inopportun...).

- * intérêt de la mise à jour de structures géologiques ou de gisements fossilifères (et leur contexte paléontologique et stratigraphique) qui méritent une valorisation pédagogique, voire même touristique, supposant toutefois des restrictions éventuelles et une surveillance des lieux (sécurité, risque de pillage...), et la mise à disposition d'informations (panneaux, dépliant...). Ces atouts sont rarement utilisés de manière organisée (nombreux cas de sorties scolaires sans accueil local, prospections spontanées et individualistes des amateurs...), et d'intéressants fronts de taille peuvent être maladroitement ensevelis sous des remblais destinés à "paysager" un site !

- * la création d'un nouveau paysage, qui s'il est judicieusement étudié, peut agrémenter la région et offrir des aspects inédits (caractère "sauvage" des parois, création de relief en zone de plaine ou de plateau, contrastes et originalité générés par l'eau dans le paysage local, formations boisées s'appuyant sur la trame bocagère environnante, etc...).

- * opportunité pour une ou plusieurs collectivités de disposer d'espaces de loisirs (sentier de promenade, crapa, aire de jeux, activités de loisirs liées à l'eau...). On veillera dans ce cas à vérifier préalablement si les conditions de sécurité ou les conditions sanitaires seraient remplies,

et à obtenir des collectivités l'engagement nécessaire en termes de surveillance, ou d'animation, par exemple.

Les choix entre ces diverses orientations n'étant pas toujours exclusifs, peuvent être panachés en un même site, en optimisant les opportunités offertes par les diverses parties de l'exploitation (relief, présence de l'eau, pentes douces, banquettes et gradins, entrée de site, etc...). Ceci suppose d'une part, que les surfaces en jeu soient suffisantes, ce qui exclut d'emblée les petites carrières ; et d'autre part, que soit établi, au vu de la configuration future prévue pour la fin d'exploitation, un bilan des atouts et des potentialités, et un zonage des objectifs. On doit intégrer aussi à l'élaboration du projet tous les aspects liés à l'entretien et à la gestion du site (périodicité, coût, modalités techniques, prise en charge...). Stratégiquement, ils peuvent être déterminants : on peut avoir avantage à associer une collectivité (donc à prendre en considération une vocation de loisir, par exemple), pour faciliter le financement d'un réaménagement écologique et son entretien, sur une autre zone du site.

La plupart du temps cependant, on pourra réduire fortement les charges de gestion en concevant des espaces les plus "naturels" possibles, soit sous forme de milieux laissés à la libre reconquête spontanée, soit en minimisant l'artificialisation finale du site (éviter des équipements dont l'entretien est lourd, préférer des prairies rustiques à des pelouses, des boisements en essences locales adaptées plutôt que des variétés horticoles plus exigeantes, etc...). La gestion des niveaux d'eau pourra être souvent maîtrisée à partir d'un dispositif de surverse vers le cours d'eau le plus proche, sous réserve de respecter les impératifs de qualité du milieu récepteur (pH, turbidité, charges en nutriments) : la réutilisation de bassins de décantation comme lagunes-tampons intermédiaires peut être nécessaire.

On soulignera enfin que certaines activités fortement perturbatrices pour le milieu naturel sont quasi-systématiquement incompatibles avec une vocation écologique, même partielle ou complémentaire, du site réaménagé : motocross (dérangement de la faune, destruction de la végétation), escalade et varappe (pour des falaises propices à la nidification), ball-trap, etc...

PREVOIR LA GESTION ULTERIEURE ET LE SUIVI...

...Dès le phasage de l'exploitation

Selon qu'il est propriétaire ou qu'il ne dispose que d'un contrat de foretage, le carrier aura plus ou moins de facilités à organiser la gestion ultérieure du site. Parfois, il en sera d'avance exclu. Mais chaque fois que c'est possible, le dossier d'autorisation devra comporter des dispositions qui permettent, voire orientent, les modalités de gestion, même en cas de rétrocession du site à une commune ou à une association. Ces dispositions seront indiquées dans les documents d'autorisation avec davantage de précision si le carrier garde la maîtrise foncière du site, mais elles seront utiles aussi dans le cas contraire (guide pour le gestionnaire et les services de contrôle).

Certains aménagements induisent ipso facto une gestion ultérieure d'entretien, voire des interventions complémentaires :

- panneaux d'information à remplacer périodiquement
- structures de protection à rénover en cas de vandalisme
- plantations à éclaircir et débroussailler (ou faucher pour certaines zones humides)
- endroits pionniers intéressants à "rajeunir" régulièrement.

Dispositions pratiques

Aucune gestion particulière n'est à prévoir pour les fronts de taille, une fois la carrière correctement réaménagée, sauf en cas de problèmes de sécurité (éboulements imprévus, parois dangereux, impliquant des consignes de sécurité). Dans les zones d'escarpements et de surplombs, dans la plupart des cas, les interventions ne sont pas nécessaires (les contraintes liées au milieu se chargeant de limiter les problèmes d'entretien du site). De plus, le développement de fourrés et de landes contribue à camoufler la carrière au plus grand bénéfice de tous (non-dérangement pour les oiseaux, insertion paysagère...).

On veillera à mettre en place en cours d'exploitation une signalisation suffisante relative aux dangers de glissements de terrains ou d'éboulements. Aucune gestion particulière n'est à prévoir pour ces zones instables, si ce n'est la limitation éventuelle du boisement naturel (cf. friches) en débroussaillant périodiquement pour préserver des clairières et zones ensoleillées.

Il n'est pas possible de définir des modalités de gestion universelles pour les remblais, qui peuvent générer des milieux très divers selon leur nature, leur épaisseur, leur compacité, etc... On se reportera selon les cas, aux préconisations avancées dans les fiches "friches et prairies artificielles", "zones humides", "fronts de taille", pour des éléments de gestion.

On notera que beaucoup de remblais finissent par se "fermer" (envahissement par les buissons, arbustes, voire arbres) au détriment de la biodiversité*. Un embroussaillage complet du site est toujours préjudiciable à la flore héliophile* et thermophile*. De ce fait, les prairies et friches reconstituées ou naturellement apparues, bénéficieraient d'intervention de coupe sélective des ligneux (clairières, lisières) et de la possibilité de remettre certaines zones en pâturage (ovin, caprin ou bovin), mais cette option est parfois limitée sur les pentes trop fortes. C'est pourtant un bon facteur de maintien de zones diversifiées (plages de sol nu, de micro-éboulis, pelouses rases, clairières, sentes). Il convient de prendre contact avant les choix de devenir du site, avec les exploitants riverains susceptibles de poursuivre encore longtemps leur activité ou qui ont trouvé un successeur.

En revanche, le pâturage est incompatible avec les stades jeunes de plantations arbustives et arborées. Il implique une délimitation (clôtures).

Les zones humides sont souvent les plus aisément colonisables par une dense végétation naturelle d'origine plus ou moins locale. Il n'en est pas de même des surfaces en eau profonde.

Il n'est pas utile d'investir dans des frais de plantation en bordures (ce pourrait même être nuisible), sauf s'il s'agit de constituer artificiellement une zone palustre (introduction de plants de végétaux aquatiques pour accélérer la végétalisation et assurer rapidement un aspect "nature" à un site destiné à recevoir des visiteurs).

En revanche, il s'agit de zones où la dynamique est parfois excessive : sur les parties terrestres, en fin de succession*, le milieu se "ferme" (saulaie-bétulaie, aulnaie, voire chênaie en bordure), ce qui est préjudiciable à la biodiversité. De même, sur les parties en eau certaines espèces de végétaux palustres* ont un tel pouvoir d'envahissement qu'il est préférable d'en éviter l'introduction (élodée), ou seulement à petite dose (massettes) au bord de grands plans d'eau. La gestion consiste alors à pratiquer des coupes dégagant des berges herbacées, des marais non ombragés, des lisières ouvertes et des espaces d'eau libre non envahis. Un faucardage* périodique d'une partie de la végétation est bénéfique en zone palustre*.

Ces interventions peuvent être confiées contractuellement à une collectivité territoriale, ou à une association (dans ce dernier cas, il s'agit de chantiers de plus faible envergure). En cas d'intervention technique, on veillera à confier le travail à une entreprise spécialisée. Des "chantiers nature" ponctuels peuvent contribuer à préserver des zones "jeunes" (sol nu, dalles rocheuses) dans les meilleurs sites potentiels.

Suivi scientifique

Dans tous les cas de carrières le suivi scientifique est souhaitable, y compris au cours de l'exploitation, au fur et à mesure que s'édifient les milieux induits. Ce suivi permettra d'affiner

les prévisions de reconquête de la nature, de corriger celles-ci, sur la base de constats objectifs quant à son évolution. Le suivi comprend en particulier :

- * des observations ornithologiques* régulières (selon les saisons) doublées d'investigations occasionnelles herpétologiques* et batrachologiques*, voire, sur les milieux prometteurs, entomologiques*.

- * une inspection botanique intermittente (périodicité annuelle ou biannuelle recommandée).

Dans la plupart des cas, ces dispositions sont à confier aux associations locales. En cas d'expertise complexe, relevant de problématiques d'aménagement, ou débouchant sur des propositions techniques opérationnelles, des spécialistes (ingénieurs écologues, équipes pluridisciplinaires de bureaux d'étude) devront être chargés des études et inventaires.

Il est regrettable de constater que nombre de carrières sont purement et simplement fermées à toute fréquentation, ou aménagées uniquement pour des loisirs familiaux, mais ne disposent d'aucune installation favorisant l'observation du site et de la nature et permettant d'en évaluer l'intérêt. Les observations intéressantes que permettent les plans d'eau impliquent de disposer d'emplacement aménagés, qui peuvent être alors optimisés pour des visites organisées : huttes, observatoires de diverses factures.

Les petits aménagements simples propices à ces activités peuvent en effet être anticipés :

- * accès à des postes d'observation pas trop inconfortables (à déterminer avec les scientifiques lors des aménagements préalables à la fermeture de l'exploitation) ; on évitera de boiser devant des points de vue intéressants, tant sur le plan paysager que pour des observations naturalistes ;

- * schéma des couches géologiques et indication des principales formations fossilifères et de leur intérêt stratigraphique* et paléontologique* ;

- * itinéraires (balisés ou non) mettant en valeur les divers milieux existants ou appelés à se développer (quelques passages aménagés de fossés ou zones humides suffisent parfois à permettre un circuit impossible dans le cas contraire)...

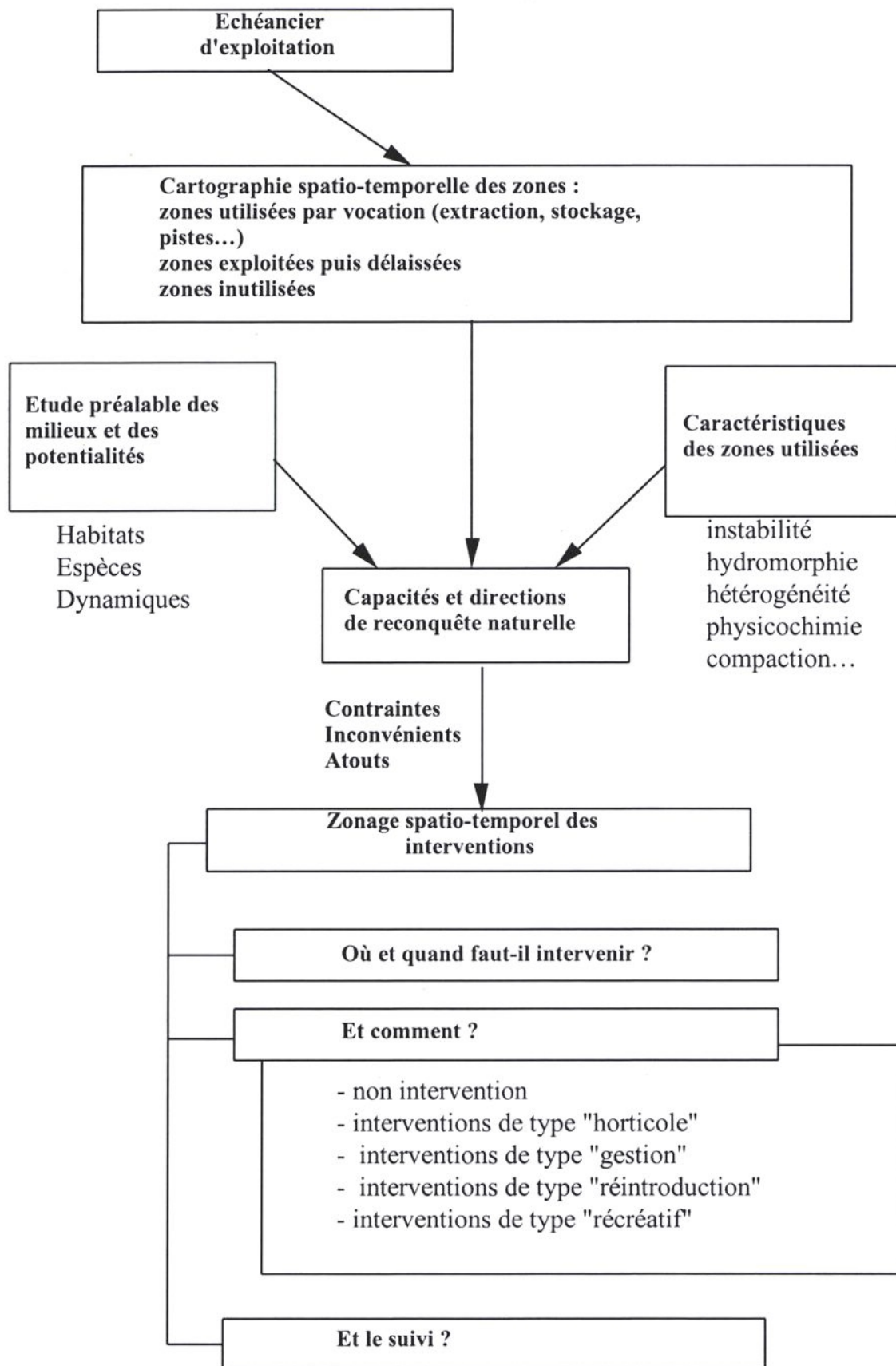
Les carrières abandonnées offrent des opportunités faunistiques et/ou floristiques de premier plan. Nombre de zones humides en carrières (abandonnées ou non) constituent un site de valeur biologique notoire.

On est ainsi amené à inscrire dans les ZNIEFF (Zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique) un certain nombre de carrières abandonnées.

Cas particulier : intérêt paléontologique* (faciès, gîtes fossilifères) ou géologique (minéraux, litho faciès, accidents géologiques exceptionnels).

Certaines méritent des dispositifs de protection réglementaire. Il peut être utile de valoriser ces atouts sur le plan pédagogique et de les signaler par des panneaux d'information en entrée de site.

Dans ce cas, il est souhaitable que l'exploitant prenne à sa charge, au titre de la réhabilitation du site, la réalisation des panneaux, leur contenu étant étudié avec des spécialistes (cabinets spécialisés, associations, universitaires...). Le "message" peut aborder des notions d'écologie, de lecture du paysage, de dynamique du milieu, présenter des espèces exceptionnelles déjà présentes ou potentielles.



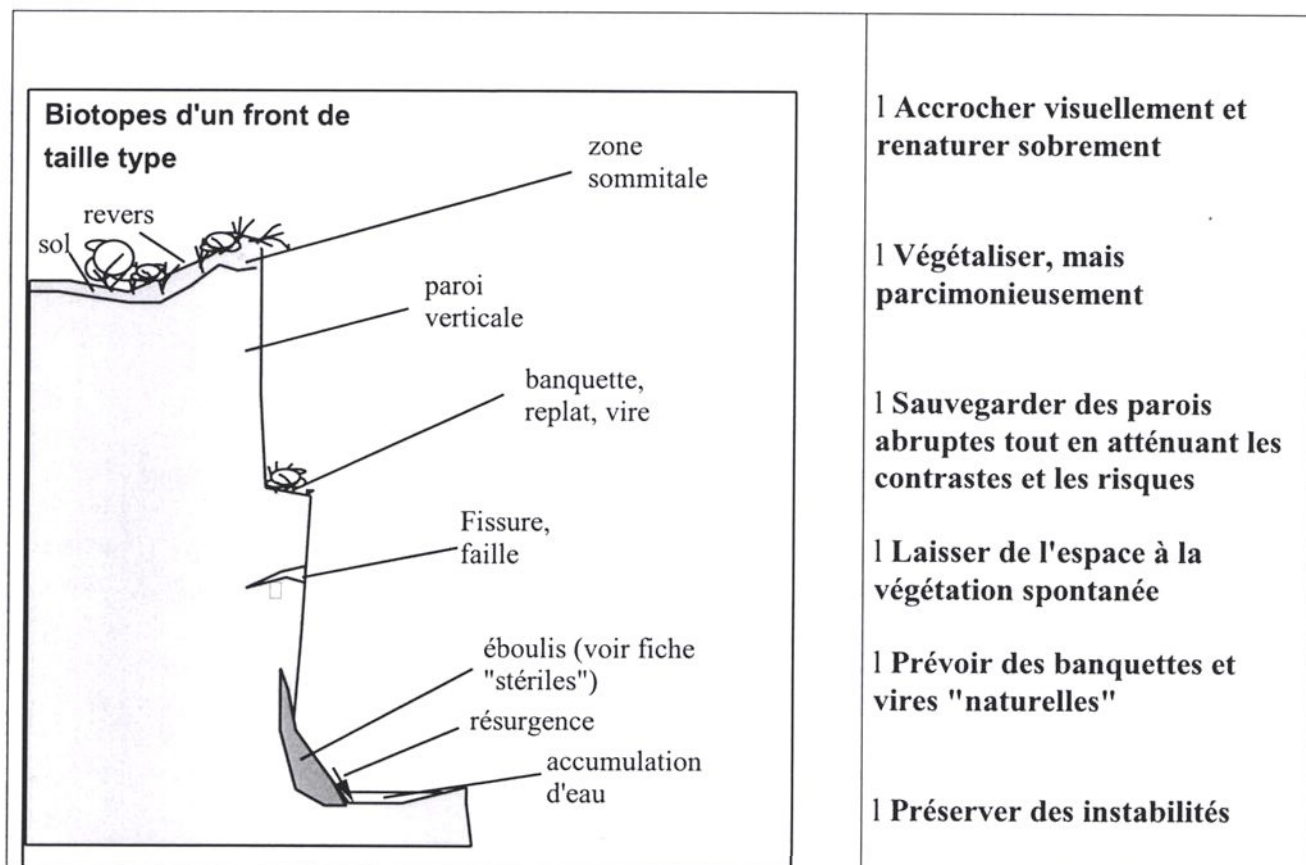
SCHEMA DE STRATEGIE POUR LA REMISE EN ETAT

FICHES : conseils pratiques

Il importe de souligner qu'en tout état de cause, tous ces conseils sont à prendre en considération dès la mise en exploitation et durant toute la vie de la carrière, de manière à prévoir, à anticiper, à préparer au fur et à mesure que les opportunités se font jour, l'état final du site.

Cet exercice est assez délicat, compte tenu de l'intérêt de conserver une certaine souplesse (voir p.14-15) tout en déterminant le plus tôt possible les phases successives de remise en état. S'associer le conseil d'un organisme spécialisé s'avère d'autant plus utile, au moins pour les exploitations d'une certaine dimension.

FRONTS DE TAILLE



Principes d'aménagement

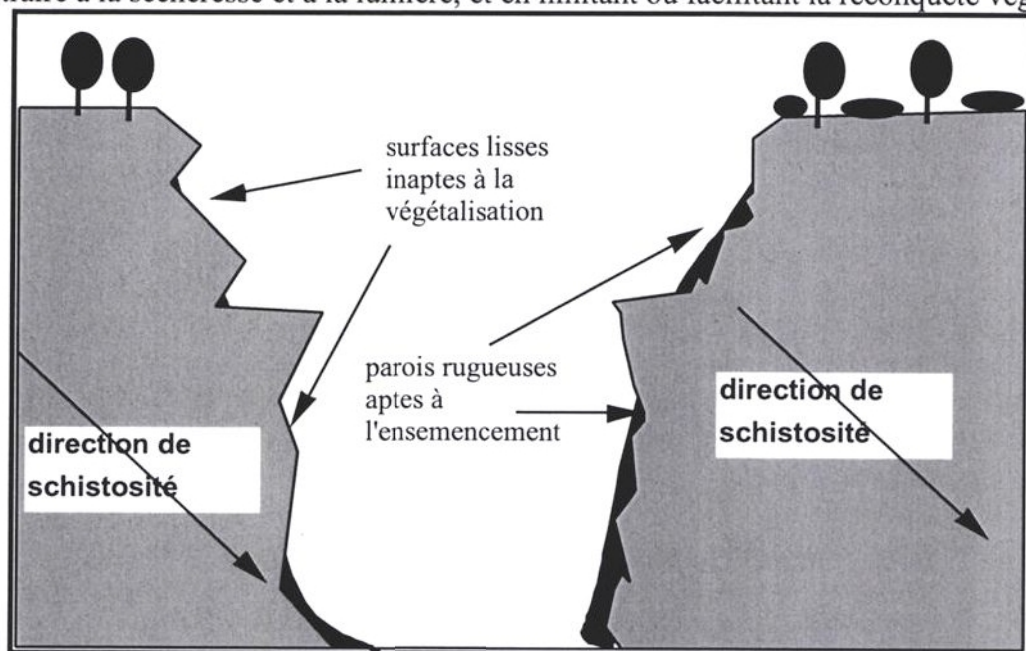
"Accrocher" visuellement le front de taille au paysage environnant, ne signifie pas pour autant le masquer. Au contraire, un front de taille intégré présente souvent une perspective intéressante. Son intégration vise à la "renaturer" sans le faire disparaître. Dès sa conception, on veillera à varier les lignes de force créées dans le site (emplacement et irrégularité des banquettes, ruptures dans la ligne de front, décalages...). De plus, le front de taille en tant que tel, même sans réaménagement, est d'intérêt écologique (cf. ci-après), et il peut être aussi attractif pour les sports d'escalade. Il faut donc préserver la valeur paysagère, biologique et récréative et **renaturer sobrement**.

Végétaliser, mais parcimonieusement : pour intégrer le front de taille, on cherchera à atténuer son altitude apparente s'il est trop élevé, et à atténuer son allure homogène éventuelle, en particulier la rectitude géométrique de sa base et de son sommet, qui, sur des falaises naturelles, sont le plus souvent irréguliers. La meilleure manière de le faire repose sur le développement de la végétation (spontanée ou artificielle). Si le sol le permet, on peut boiser de place en place (éviter de le faire de manière continue) le sommet et/ou la base, introduire des végétaux susceptibles de générer des "masses" distinctes d'allure, en jouant entre autres sur les variations de strate (buissons, arbustes, lianes rampantes, arbres en baliveaux).

On évitera d'employer systématiquement des arbres de haut-jet qui introduisent parfois une dimension étrangère au milieu, risquent de masquer totalement le front de taille à terme, s'ils se développent bien, ou pourraient à l'inverse périlcliter s'il n'a pas été possible de préparer un sol assez profond sur les banquettes (80 à 120 cm).

Il est important, à cet égard, de prévoir quelques dépôts de terre à la base du front de taille (pas forcément très riche, mais susceptible de fournir un substrat meuble aux racines).

On remarquera aussi qu'il est assez facile de provoquer la revégétalisation de parois perpendiculaires aux plans de fracturation ou de schistosité (microrelief rugueux), par exemple par projection (ensemencement hydraulique) mais beaucoup moins aisé de le faire si la paroi est parallèle à la fracturation ou si elle découle de la schistosité (cf. schéma). L'exposition joue également un rôle important, en sélectionnant les végétaux résistants à l'ombre et à l'humidité, ou au contraire à la sécheresse et à la lumière, et en limitant ou facilitant la reconquête végétale.



Sauvegarder des zones abruptes : avec les fissures, les failles et replats ensoleillés, qui constituent des milieux favorables à tout un ensemble particulier de faune et de flore. Les opérations de "mise en sécurité" ne doivent pas être généralisées mais ciblées sur les zones où une fréquentation sera envisagée ou autorisée. Un grillage prévenant l'accès à d'autres zones plus instables et ménageant une zone de piège pour les chutes de pierre peut constituer une variante à la rectification des parois. **Tout en atténuant les contrastes et les risques** : dans le contexte des impacts visuels et de sécurité, les exploitants de carrières où s'élèvent d'imposants fronts de taille pourront avantageusement tenter d'adoucir cette verticalité, soit en rectifiant le relief (création de pentes plus douces, éboulis provoqués en pied de front), soit en remblayant partiellement ces parois en tenant compte toutefois, du pendage ou de la schistosité des roches. Il sera possible de prévoir en partie cette éventualité dès les premiers stades d'exploitation (acquisition des terrains - prévoir dès cette étape un "recul" supplémentaire, même s'il s'agit d'un léger manque à gagner pour l'exploitant - et gestion des matériaux stériles), de délimiter les zones d'intervention - qui ne doivent pas être appliquées systématiquement, cf. ci-dessus - et d'être à même de revoir cette disposition en cours d'exploitation si des intérêts biologiques se font jour entre temps, ce qui est toujours possible (nidification de rapaces par exemple). Enfin, dans le façonnage des pentes, on prendra soin de s'inscrire dans le pendage dominant des roches en place.

Laisser de l'espace à la végétation spontanée qui va progressivement s'introduire : herbacées des fissures (chasmophytes*), plantes de roche (rupicoles*), lichens et bryophytes* sur vires et replats où l'humus s'accumule et permet la constitution d'un "sol" primitif, plantes thermophiles* et xérophiles* en exposition Sud et Sud-Ouest. Ces dernières seront encore plus particulières en roche calcaire.

Prévoir des banquettes et vires "naturelles" qui constituent des espaces à coloniser pour la flore naturelle, et permettent à diverses espèces animales vertébrées de profiter du nouveau site créé : nidification (microsite inaccessible), reposoir et/ou affût de chasse pour les rapaces,

etc...De plus, il peut s'y trouver des fragments de pierriers, éboulis ou accumulation d'arènes meubles favorables à nombre d'espèces d'invertébrés, et ceci d'autant plus si l'exposition est Sud (espèces thermophiles*, zones plus abritées en hiver, plus vite réchauffées au printemps).

Préserver l'instabilité : certaines roches friables et qui se délitent (schistes, schistes et quartzites, certains granites altérés) engendrent des instabilités de parois (chutes de pierres, éboulis). Celles-ci font "vivre" la paroi à long terme et permettent d'accroître la diversité des biotopes*, en rajeunissant par place le substrat. De plus, les éboulis ainsi constitués vont offrir d'autres milieux intéressants.

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de falaises et dalles rocheuses, vires humifères liées à l'accumulation de matières organiques...

Végétation de parois ombragées (cf. la doradille lancéolée *Asplenium obovatum* ssp *lanceolatum*), intérêt alimentaire - lierre (*Hedera helix*).

Orpins (*Sedums* sp.), bryophytes (*Grimmia pulvinata*), lichens (Cf. *Cladonia rangiferina*, protégé en Basse-Normandie) et herbacées caractérisant les pelouses sèches des milieux drainants, sur les fissures des parois, et lorsque les banquettes sont à pente externe. Peuplements très diversifiés possibles, parfois espèces rares.

Fragments de landes (en sol acide ou décalcifié) : cf. agrostide de Curtis (*Agrostis curtisii*), ajonc (*Ulex* sp).

Zones humides, suintements d'une part en pied de front, d'autre part en banquettes à pente interne (peu ou mal drainées) : voir fiche correspondante. Ces milieux humides sont intéressants car souvent bien isolés du reste des parties plus accessibles, et donc milieux privilégiés pour une installation de faune et flore spontanées.

Espèces thermophiles (falaises calcaires, schisteuses, surtout si exposées au Sud) : cf. petite coronille (*Coronilla minima*), nombreuses orchidées...et en fourrés : sorbier à larges feuilles (*Sorbus latifolia*).

Faune

Parois verticales avec replats (roches massives) : intérêt de ces milieux "tranquilles" offrant des milieux de choix pour une nidification privilégiée et sécuritaire, et comme perchoirs (et affûts).

*intérêt ornithologique**

nidification et postes de guet et reposoir* pour Rougequeue noir, Choucas des tours, Grand corbeau, Pigeon colombin, Chouette chevêche, Faucon crécerelle, Faucon pèlerin, Chouette hulotte, Chouette effraie, Bergeronnette grise...

transit migratoire* d'espèces occasionnelles comme le Tichodrome échelette

*intérêt chiroptérologique** (chauves-souris) : petits *Myotis* en particulier, inféodées aux fentes et microfissures

*intérêt herpétologique** : fissures et failles utilisées (plutôt en pied de falaise) par lézard des murailles, coronelle lisse...

Parois friables et verticales (sable, argile), parties apicales des précédentes (sol et altérites) :

intérêt ornithologique : nidification de l'Hirondelle de rivage, du Guêpier d'Europe et du Martin-pêcheur

*intérêt entomologique** : installation de colonies d'hyménoptères* fouisseurs et terricoles*

Contraintes liées aux usages éventuels

Les parois abruptes sont parfois propices à la pratique des sports d'escalade.

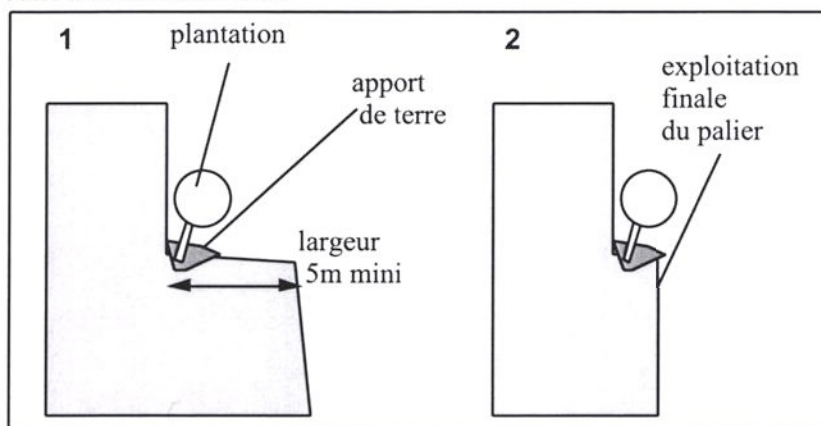
Dans ce cas, les impératifs de sécurité impliquent une stabilisation du front de taille sur une trentaine de mètres de part et d'autre de la voie. Il importe de délimiter quelles parties des parois seront consacrées à cette activité, et de vérifier avant toute intervention perturbatrice, auprès des naturalistes locaux ou régionaux, qu'elle n'interfère pas avec des sensibilités faunistiques ou floristiques déjà présentes.

Le pied des falaises artificielles, hormis le cas précité, en cas d'ouverture au public, doit être exclu des parcours pédestres. Ses accès peuvent être découragés par des plantations denses (buissons épineux ou fossés en eau, par exemple). Les éventuels gradins sous des parois en surplomb ou verticales doivent être inaccessibles.

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- faire varier l'emplacement, l'inclinaison et la longueur des banquettes, pour éviter d'obtenir *in fine* une structure d'allure très artificielle.
- définir les plantations sur les paliers provisoires : une fois réalisées en pied de front de taille supérieur, le palier peut être supprimé et ramené à une simple banquette, en préservant une simple bande de 2m environ :



- adapter le cas échéant l'emplacement vertical de ces paliers, pour optimiser la plantation : ne pas laisser 30 m de falaise abrupte sans végétation, respecter les textes réglementaires en espaçant d'environ 15 m verticaux maximum chaque banquette (accord administratif pour une hauteur > 15 m), celle-ci de largeur minimale de 3 à 4 m. En revanche, une hauteur de 10 m est insuffisante si l'on veut maintenir un équilibre visuel entre végétation plantée et paroi rocheuse, les arbres à grand développement atteignant inéluctablement cette hauteur camoufleront à terme la totalité de la falaise. La valeur biologique et paysagère des zones ensoleillées des falaises artificielles mérite d'être préservée, au moins par places.

- prévoir la création artificielle de quelques "cavités" dans les parois massives, pour la faune, lorsque celles-ci sont aisément accessibles en cours d'exploitation. Après il est trop tard.
- préserver des parois subverticales implique qu'on ne les fait pas totalement disparaître sous des remblais. Cette précaution s'intègre dans le phasage d'exploitation (éviter le mauvais usage des volumes stériles non commercialisables et des terres de découverte).
- les derniers tirs d'exploitation seront déterminants pour fixer la forme ultime du front, la configuration esthétique du site peut en dépendre (limiter une géométrie trop régulière).

- si l'on choisit de cacher le front de taille des points de vue extérieurs au site, l'édification de merlons peut être nécessaire (hauteur variable selon les caractéristiques de perception du site). Il convient de prévoir dès l'ouverture du site, ou dès l'extension, ou le plus tôt possible en cours d'exploitation, leur emplacement, leur dimensionnement et leur propre intégration visuelle (qui est parfois délicate), par exemple par boisement, ainsi que de réserver les matériaux nécessaires : stériles, remblais hétérogènes, puis couche de terre arable, voire terre végétale si besoin (plantations horticoles). Un merlon jouera aussi un rôle d'écran sonore (à ce titre, il gagne à être réalisé au plus tôt).

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de remplacer au final les parois verticales par des pentes obliques

faudra-t-il réellement "cacher" la falaise, ne présentera-t-elle pas un caractère esthétique ?
n'aura-t-elle pas des potentialités de milieux naturels intéressants ?
un suivi de son intérêt biologique est-il prévu ?

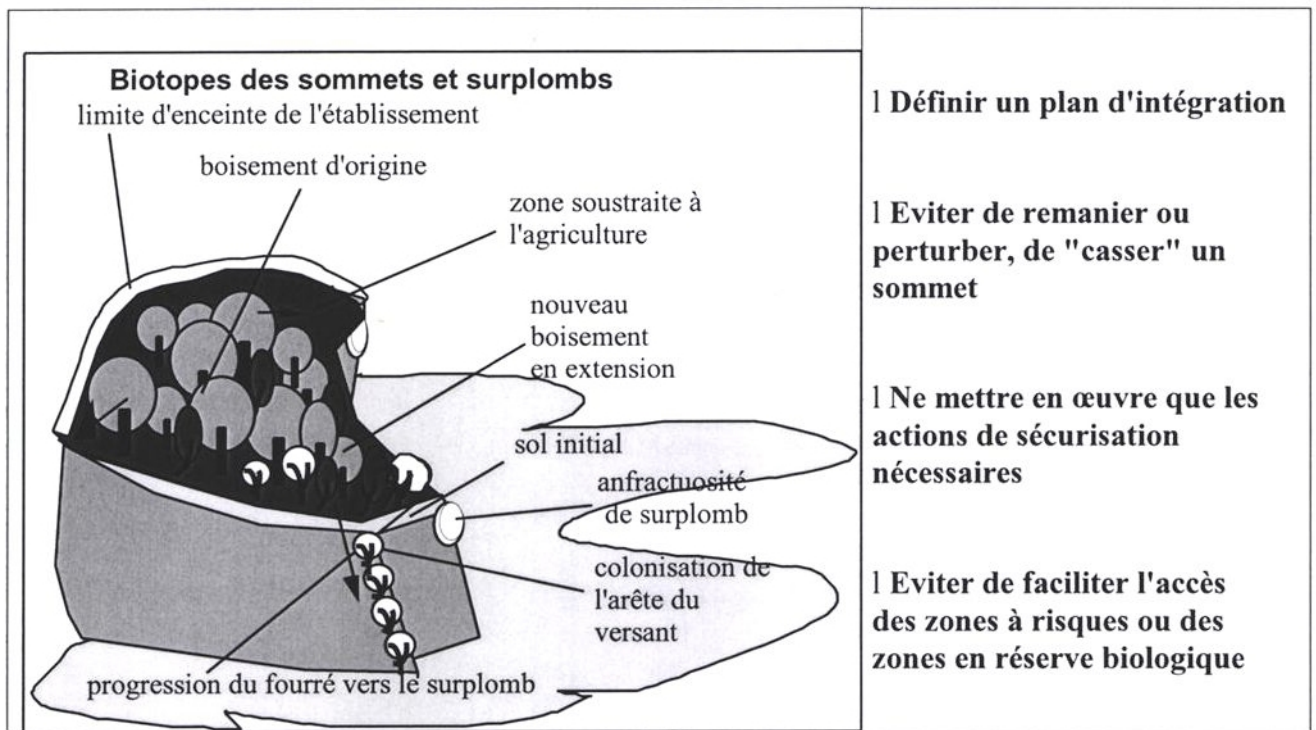
projet de revégétaliser par plantations d'arbres et arbustes

le fait de "boiser" le paysage ne risque-t-il pas de paraître *in fine* plus artificiel que naturel ?
le site peut-il se boiser par reconquête spontanée ?
comment éviter une apparence hétéroclite par rapport au paysage environnant ?
les zones "ouvertes" (dalles rocheuses, parois, pierriers,...) ne seront-elles pas plus intéressantes pour la valeur du site (visuelle et naturelle) qu'une plantation ?

projet de revégétaliser par engazonnement

"verdir" artificiellement est-il indispensable ?
quelle est la composition du semis à utiliser pour éviter une banalisation du site ?
les zones rocheuses existantes *in fine* ne seront-elles pas déjà d'intérêt écologique ?
y-a-t-il des potentialités de "verdissement" naturel qui éviteraient des interventions inutiles ?

SOMMETS ET SURPLOMBS



Quelles que soient les dispositions énoncées, on gardera à l'esprit le caractère incontournable des mesures de sécurité et des précautions à prendre à ce titre, qui ont la priorité sur toute autre considération.

Principes d'aménagement

Définir un plan d'intégration paysagère et écologique des abords : en fin d'exploitation, ces abords vont représenter souvent peu de superficie entre les surplombs proprement dits et la limite d'enceinte de l'établissement. Pourtant, cet espace peut être mis à profit, étant donné sa tranquillité (limitation d'accès, y compris aux chasseurs) pour favoriser les refuges à faune à vocation de remise* et de gagnage*.

De plus, il contribue aux futures "sources" de propagation des végétaux pour la reconquête "naturelle" de la paroi et de l'ensemble du site. La plantation partielle de ces surplombs ménagera des espaces libres, mais contribuera à enrichir la fonction trophique* du site tout en optimisant l'intégration paysagère. On veillera, sur ce dernier point, à éviter les plantations monotones en ligne ou monospécifiques*, type "thuyas", constituant des "remparts verts", et à privilégier les essences locales ou proches des végétaux indigènes. Les essences à vocation écologique (production de baies, de graines, buissons touffus pour la nidification de passereaux, arbres feuillus de haut jet propices aux espèces exploitant les troncs et les écorces...) sont à privilégier.

Eviter de remanier ou perturber, de "casser" un sommet : le passage d'engins répété sur ces surplombs, le décapage de la terre de surface, le passage au girobroyeur, donnent l'illusion de "maîtriser" l'aspect du site (propreté et netteté des contours) mais engendrent des destructions inutiles de la flore en place. Contrairement à ce qui est parfois écrit, "casser" l'arête d'un sommet de front n'améliore pas *ipso facto* le paysage, n'est pas toujours obligatoire sur le plan de la

sécurité (cas de roches compactes et résistantes peu fracturées, cas des accès prévenus par engrillagement), et porte en revanche atteinte au potentiel biologique qu'il représente.

Ne mettre en œuvre que les actions de sécurisation nécessaires : dans le cas des grands escarpements, il est d'usage en cas de roche friable de purger les sommets et falaises artificielles. Ceci ne sera pratiqué que de manière prudente et limitée au strict nécessaire, compte tenu des impératifs de sécurité et des accès.

Dans la plupart des cas, une signalisation appropriée suffira. Le fait de ne pas empêcher des micro-effondrements spontanés ultérieurs favorise la colonisation des versants sous-jacents, voire celle des pieds de falaises, par une végétation issue des surplombs.

Eviter de faciliter l'accès : que ce soit à partir du dessus ou à partir du pied de falaise, aucun accès n'est souhaitable à ces escarpements. De plus, s'agissant souvent de zones constituant des réserves de fait pour la faune, leur fréquentation est inopportune.

En conséquence, éviter de laisser des gradins en pente, des replats, des terrils, des remblais et des rampes susceptibles de faciliter l'accès : dans ce cas, on génère des risques de dérangements intempestifs de la faune. Laisser ou planter des épineux constitue une autre bonne solution pour obtenir une relative quiétude des lieux.

Intérêts écologiques

Végétation

Souvent situés aux endroits ventés et surplombant le site exploité, parfois dans des zones instables propres à se fragmenter et à s'ébouler, ces milieux en surplomb vont disséminer d'autant plus facilement les graines, baies, stolons et boutures.

On y trouve toutes les plantes des milieux naturels initiaux (ceux des haies, des talus, des prairies, des bois et murets, des landes...) à l'exception de celles des milieux humides, qui en général disparaissent suite au rabattement de nappe provoqué par l'extraction :

Orpins (Sedums) et peuplements bryolichéniques* de crêtes (dalles rocheuses), landes à Callune (*Calluna vulgaris*), bruyère cendrée (*Erica cinerea*) ou bruyère ciliée (*Erica ciliaris*), ajoncs (*Ulex* sp.), fourrés à prunelliers (*Prunus spinosa*), en terrains acides, pelouses calcaires à hélianthème (*Hélianthenum nummularium*), serpollet (*Thymus serpyllum*), anthyllide (*Anthyllis vulneraria*)...

Boisements à frênes (*Fraxinus* sp.), noisetier (*Corylus avellana*), nerprun (*Rhamnus cathartica*), en zone calcaire.

Espèces thermophiles* possibles, mais aussi, en zones ventées et plus en altitude, des espèces de parois froides.

Faune

Grand intérêt potentiel pour passereaux granivores, pics et apparentés, insectes (pollinisateurs, xylophages*) et arachnides* prédateurs.

Potentialités mammalogiques* (remise et gagnage du Chevreuil, du Sanglier, du Blaireau, du Hérisson, de petits carnivores, de micromammifères des sous-bois...)

Potentialités batrachologiques* pour des espèces en phase terrestre (comme Grenouilles agile et rousse, Salamandre tachetée, Crapaud commun...) sous réserve d'abris et micromilieux appropriés.

Il s'agit des zones à friches hautes et fourrés à bouleau dominant, mais d'autres espèces peuvent être représentées selon les biotopes* (landes, fragments de bocage, génistaies, pinèdes, etc...).

Contraintes liées aux usages éventuels

Mis à part les problèmes d'accès et de sécurisation liés aux sports d'escalade (voir fiche "fronts de taille"), aucun usage de ce type de milieu.

Dans les endroits stables en roche compacte, on peut envisager des observatoires ornithologiques* si le site s'y prête en fin d'exploitation (vaste surface en eau par exemple).

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- entre la limite de l'enceinte et les rebords d'excavation, l'espace encore non exploité, libéré de l'agriculture, offre de belles potentialités pour la faune et la flore ; interdire la chasse, laisser se développer la dynamique végétale spontanée, sur la majeure partie de ces espaces (possibilité de diversification naturelle) ;

- prévoir dès le début du phasage des zones préservées en périphérie, de largeur non nulle, qui constitueront des "sources" de recolonisation, et des espaces en réserve (à titre de mesure compensatoire, par exemple) ; il en est de même en cas d'extension ;

- plantations intégrées au paysage local, faisant appel à la fois aux strates basses (buissons, arbustes) et aux arbres (baliveaux ou sur tige), en reconstituant des bosquets d'allure naturelle - éviter les plantations uniformes et rectilignes, en masse continue ("mur vert") du plus mauvais effet ; renforcer les effets de relief, au lieu de chercher parfois maladroitement à le masquer : préférer les arbres de haut jet sur les points hauts, buissons et plantes rampantes en points creux ;

- ces plantations sont à réaliser dès les premières phases d'exploitation et non en fin d'utilisation du gisement.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de purger les parois instables

les abords immédiats supporteront-ils un circuit de promenade ?

pour des raisons sécuritaires, mais aussi biologiques, voire cynégétique, leur destination optimale n'est-elle pas une "mise en réserve" ?

la fixation artificielle ou la purge de tel sommet est-elle favorable à la faune et à la flore actuelles ou potentielles ?

le paysage final sera-t-il amélioré par ces interventions ?

projet de reprofiler pour créer des reliefs adoucis

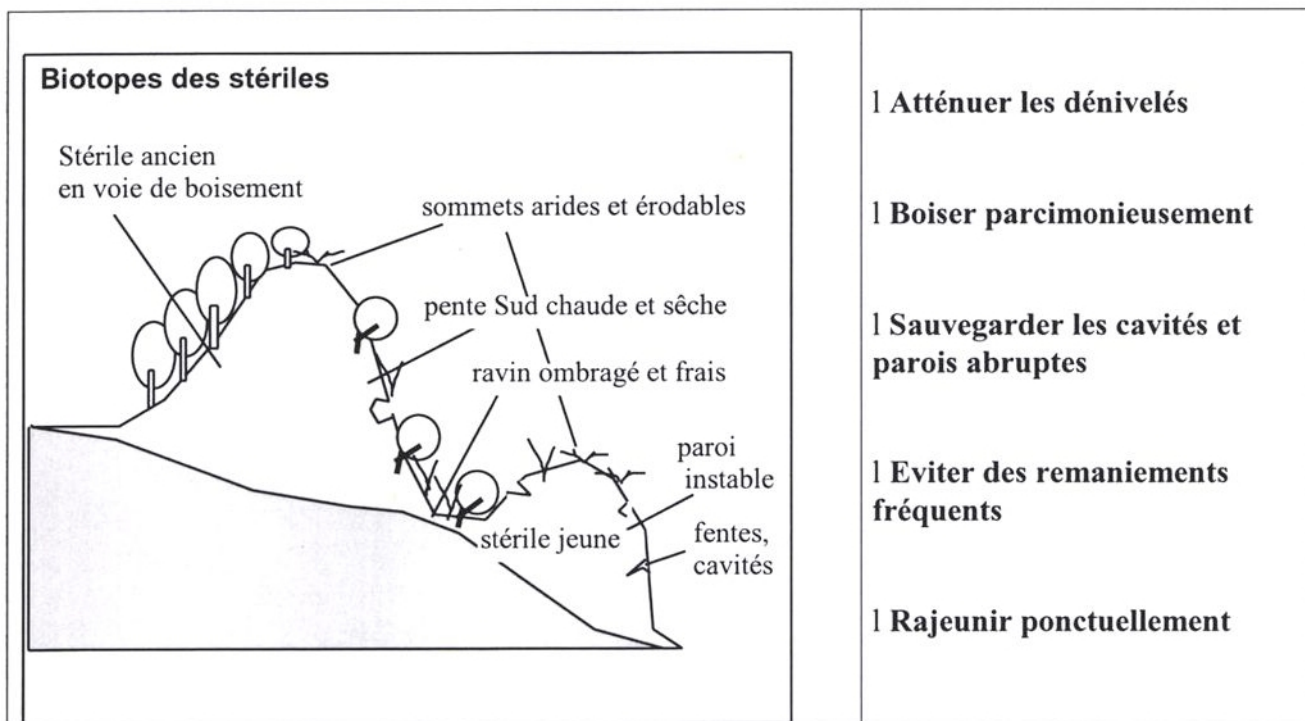
le caractère "sauvage" des sommets et surplombs est-il à remettre en cause ? son esthétique n'est-elle pas un atout ?

compte tenu des suivis en cours, la valeur écologique de telle partie du site en voie de régénération est-elle inexistante ?

les matériaux de remblai nécessaires à cette intervention n'ont-ils pas meilleur usage (par exemple atténuer la profondeur d'une partie des futures zones en eau ?)

a-t-on examiné la possibilité de créer des "points de vue" ou "observatoires" pour les visiteurs ?

TERRILS DE STÉRILES ET EBOULIS



Principes d'aménagement

Intégrer visuellement les tas imposants pour des raisons d'ordre paysager amène à limiter l'importance des dénivelés. Inversement, leur rôle de merlons* anti-bruits amènera à tirer profit de leur hauteur. Dans ce cas, l'intégration paysagère sera basée aussi sur la végétalisation partielle du stérile (diversifier les strates : buissons, arbustes, arbres baliveaux...).

Boiser parcimonieusement : Mais cette végétalisation doit rester ponctuelle, modeste et surtout, laisser subsister des biotopes* ensoleillés, même après développement des arbres, car ces milieux présentent la plus forte potentialité biologique (faune et flore). On évitera les arbres de haut-jet qui introduisent une dimension étrangère à ce type de milieu, et risquent d'ombrager excessivement le sous-bois. Des "clairières" de fourrés bas et landiers (ajoncs, genêts, épineux divers...) seront en revanche intéressantes pour la biodiversité* faunistique et floristique, ainsi que des plantations ponctuelles à caractère nutritif (essences mellifères*, arbustes à baies,...).

Sauvegarder les cavités et parois abruptes, les fissures, failles et replats ensoleillés, qui constituent des milieux favorables à tout un ensemble particulier de faune et de flore.

Éviter les remaniements fréquents : chaque remaniement "annule" toute la dynamique de colonisation en cours, et impose au milieu de "repartir" du stade initial. Si ce type d'intervention est fréquent, ou concerne tous les terrils de manière répétitive, aucune gestion possible de la dynamique spontanée du milieu et du paysage. On visera donc à établir les déblais stériles en des emplacements définitifs, au moins partiellement, à l'écart des zones de reprise d'exploitation. Dans le cas de dépôts temporaires, ces directives sont évidemment inappropriées.

Rajeunir ponctuellement : néanmoins, si les quantités de matériaux en jeu le permettent, il est recommandable de prévoir quelques passages de pelle mécanique ou de bulldozer pour créer des parties "rajeunies" et ainsi diversifier les stades existants sur un même site.

Rappelons enfin, quoique ceci ne soit pas directement une incidence sur le réaménagement, que la pratique d'activités comme le motocross est fortement préjudiciable à la faune, voire aussi à la flore du site. Y songer lors des choix préalables (vocations).

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation des substrats graveleux et secs, souvent clairsemée... Végétation rupicole*, saxicole*, chasmophyte* et terricole*, souvent très sélective de ces milieux.

fétuque (*Festuca lemanii*), liondent (*Leontodon hyoseroides*), selérie (*Sesleria cœrulea*), knautie des champs (*Knautia arvensis*), carline vulgaire (*Carlina vulgaris*), vipérine (*Echium vulgare*), jasione (*Jasione montana*), orpin réfléchi (*Sedum rupestre*), orpin d'Angleterre (*Sedum anglicum*), orpin blanc (*Sedum album*), tussilage (*Tussilago farfara*)... avec diverses graminées, formeront des peuplements ras, maigres, calcicoles* ou acidophiles*. De nombreuses adventices* colonisent également ces espaces souvent temporaires et remaniés plus ou moins régulièrement à la faveur des phases d'extension de l'exploitation.

Milieux souvent très "ingrats" car filtrants, souvent pentus, secs, pauvres en nutriments*. Végétalisation naturelle lente à s'installer et incomplète même au bout de plusieurs années. Prédominance prolongée de la strate pionnière bryolichénique* (bryophytes* et lichens) accompagnés de quelques fougères - grand-aigle (*Pteridium aquilinum*), mâle (*Dryopteris filix mas*), doradille noire (*Asplenium adiantum nigrum*)..., et de rares herbacées - corydale (*Ceratocarpus claviculata*), nombril de Venus (*Umbilicus rupestris*)... en "peau de léopard" alternant avec genêt, ajoncs, prunelliers, sorbiers en milieu acide, nerprun, lianes, ... en milieu basique. Ultérieurement, la dynamique spontanée introduit des arbres (bouleaux... chêne pédonculé).

Beaucoup de stériles sont issus de "tri" préalable : leur composition et leur granulométrie, différentes de la roche en place, engendrent un paysage spécifique, d'allure artificielle. En exposition Sud, microclimat chaud et sec favorable à des espèces thermophiles* - cf. petite coronille (*Coronilla minima*), serratule des teinturiers (*Serratula tinctoria*)....

Faune

Intérêt pour des invertébrés (gastéropodes, araignées, insectes terricoles et fouisseurs...).

Nidification du Traquet motteux, de la Chouette chevêche, de la Huppe fasciée, et de la Bergeronnette grise.

Gîtes, refuges et sites de reproduction pour mustélidés* (Hermine, Fouine, Belette, Putois...), Lièvre et Lapin.

Intérêt herpétologique* : Lézard vivipare, Lézard vert, Lézard des murailles, Orvet, Coronelle, vipères..., et batrachologique* (batraciens en phase terrestre : Crapaud calamite, Alyte, Triton marbré, Crapaud commun...). Site d'incubation en exposition Sud surtout, pour reptiles (couleuvre à collier...) et site d'abri pour amphibiens thermophiles.

Potentialités mammalogiques* (gîtes et refuges pour Lièvre, Lapin, Renard, Blaireau, mustélidés*, et si la surface boisée est conséquente, cervidés et Sanglier...).

Contraintes liées aux usages éventuels

Les stocks de stériles constituent des milieux propices, comme les remblais, à la pratique du moto-cross.

En cas d'intérêt manifesté par les praticiens de ce loisir, il importe de limiter dans le temps et dans l'espace cette activité, et de vérifier avant toute intervention perturbatrice, auprès des naturalistes locaux ou régionaux, qu'elle n'interfère pas avec des sensibilités faunistiques ou floristiques déjà présentes.

En revanche, il est très peu recommandé, en raison de l'instabilité des pentes, de laisser s'y développer des parcours de promenade, sauf à les aménager.

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- réserver des stériles pour le façonnement d'autres parties du site (remblai, aménagement de hauts-fonds ou de berges de plan d'eau...) constitue une "valorisation interne" du sous-produit, dans le cadre des provisions financières de l'exploitant ;
- éviter de remanier en permanence les stocks de stériles si cela est possible : la colonisation végétale en sera optimisée ;
- peuvent être utilisés pour surélever des zones déficitaires afin de créer des merlons* anti-bruits, des berges adaptées au niveau ultime des eaux après arrêt du pompage en cas d'exploitation sous le niveau phréatique ;
- rajeunir (à petite dose) les stériles très anciens par des prélèvements ponctuels peut évidemment être source de diversification des milieux. Cette intervention peut être prévue pour le dernier stade d'exploitation de certaines carrières où le volume des matériaux accumulés est très important.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de redistribuer les matériaux sur le site

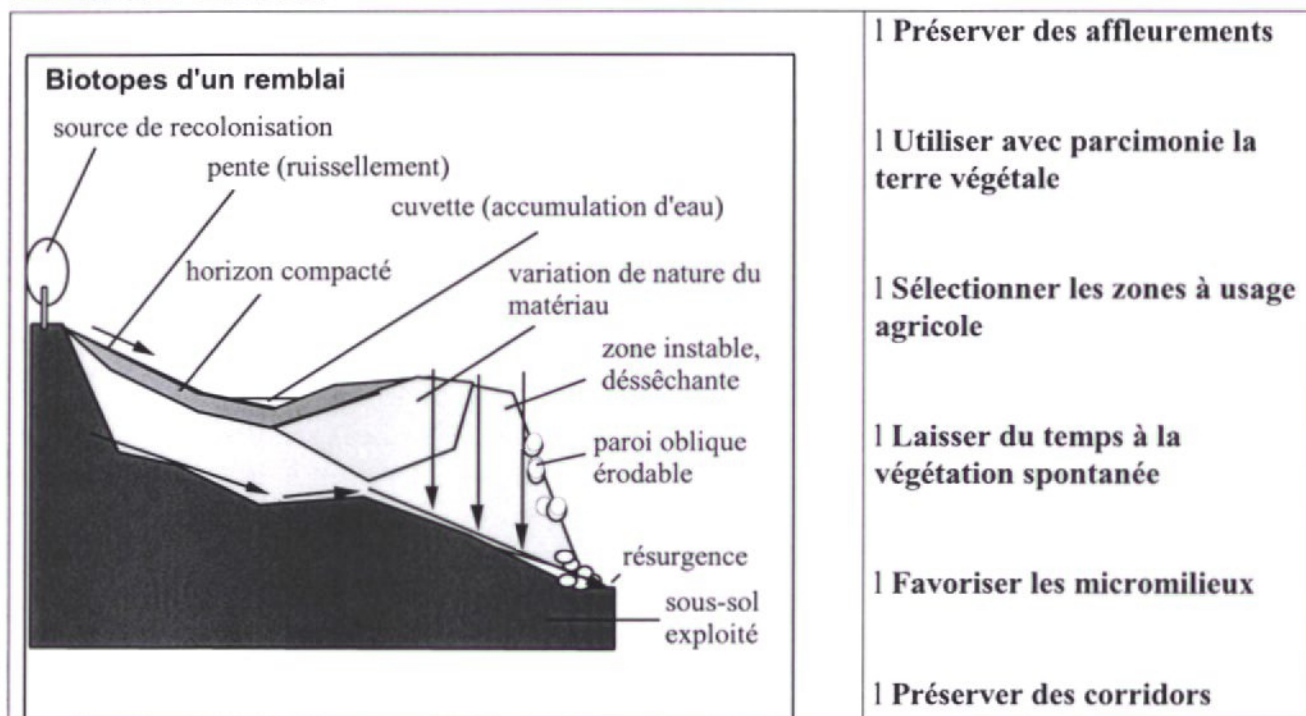
la reprise et la redistribution en question est-elle incontournable ? ne peut-on pas les "laisser" en place ?

est-il possible d'utiliser ces matériaux pour combler l'excès de profondeur d'une partie en eau ? pour aménager des berges en pentes douces localement ?

peut-on créer avec ces matériaux, s'il n'y en a pas, un "pierrier" naturel en un point donné ?

si le site est orienté vers une vocation de loisir, la promenade pourra-t-elle être assurée de manière cohérente ? doit-on recréer des continuités à des endroits impraticables ?

REMBLAIS



Principes d'aménagement

Préserver des zones d'affleurement : c'est la première consigne à donner quant aux remblais. Un remblai constitue un substrat remanié, souvent très différent physiquement, des roches et de leurs altérites* en place. Les remblais récents "travaillent" souvent et génèrent des difficultés de reprise pour les végétaux. Les roches en place et sols décapés se prêtent mieux à une recolonisation par une flore riche et locale, constituée d'éléments spontanés, mais leur "végétalisation" est évidemment plus lente, voire incomplète.

Sélectionner préalablement les zones à réhabiliter pour des usages agricoles : ces zones seront strictement délimitées dans l'espace disponible, en se souciant de prendre en compte l'opportunité que représente une carrière au titre de la diversification des milieux. Nombre de carrières sont beaucoup plus favorables à la faune et à la flore sauvages que les terres agricoles avoisinantes. Ajoutons qu'un terrain à vocation agricole suppose au moins 50 cm de terre arable.

Utiliser avec parcimonie la terre végétale (stockée durant l'exploitation ou importée) : la terre végétale doit toujours être stockée sur de faibles épaisseurs pour éviter l'asphyxie et la compaction des couches profondes, préjudiciable à la microflore et à la microfaune du sol (maximum 2m de haut). Les engins lourds ne doivent pas rouler dessus (dépôt "à reculons"). Ces contraintes sont rarement respectées.

Il est parfois plus difficile à la végétation (qu'elle soit spontanée ou artificiellement introduite) de s'installer sur un remblai : la compaction excessive en surface créée par le régalage* engendre un milieu asphyxique, tandis qu'en profondeur l'effet drainant du remblai accentue les déficits en eau* en été. Inversement, un remblai de profondeur insuffisante ne permet pas l'enracinement et le développement des arbres feuillus exigeants.

Les espèces adaptées aux roches-mères du sol initial peuvent être évincées par la concurrence d'espèces plus compétitives*. Enfin, privilégier la terre végétale issue du site (pour limiter les importations de semences et boutures étrangères au lieu).

le tableau ci-dessous récapitule ses avantages et inconvénients.

Régilage de terre végétale	
Inconvénients	Avantages
Matériaux bouleversés au préalable, horizons du sol destructurés	Sol ameubli et enrichi en humus et micro-organismes
Risque de compaction excessive (engins lourds) préjudiciable aux germinations et au développement racinaire	Matériaux naturellement perméables et filtrants
Richesse parfois excessive en nutriments (N,P,...)	Pas de risque de manque de nutriments (sous réserve de carences initiales du sol)
Nature du sol et physico-chimie "banalisées" au contraire des propriétés spécifiques du sous-sol	Avantage horticole d'un sol (en principe pas de contraintes excessives du milieu)
Importation "de novo" de semences et boutures de plantes banales ou d'adventices, voire d'opportunistes indésirables	Bon substrat en principe pour une végétalisation artificielle type "gazon" et pour une remise en valeur agricole

Laisser au remblai un certain laps de temps pour la recolonisation naturelle : dans ce domaine, un bon principe est "attendre et voir venir". Dans bien des cas, une végétation spontanée, issue des "sources" avoisinantes et des transports d'origine animale (oiseaux...) va coloniser le remblai et contribuer à en transformer l'aspect.

Favoriser les micromilieus spécifiques : type "cuvettes humides", souvent mises à profit par des espèces végétales et animales particulières, qui accroissent la valeur biologique* du site. A ce titre, des emplacements très imperméables (accumulation de dépôt argileux...) sont intéressants.

Préserver des "corridors" : des zones de liaison, souvent linéaires, entre les "sources"* de recolonisation par la faune et la flore, (souvent situées en périphérie) et les milieux néoformés au sein même du site exploité. Dans ces zones (qui peuvent être de faible superficie), on écartera les remblais.

Pour l'intérêt herpétologique*, ménager des plages ensoleillées (par exemple au niveau des affleurements) ; pour l'intérêt ornithologique*, assurer des pentes les plus verticales possibles des parois érodables (nidification d'oiseaux comme Martin-pêcheur et Hirondelle de rivage...).

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de sols minéraux, de cuvettes inondables, de zones piétinées...-salicaria à feuilles d'hyssope (*Lythrum hyssopifolia*), cicendie filiforme (*Cicendia filiformis*),

cicendie fluette (*Exaculum pusillum*), en milieu acide - ainsi que des bryophytes* et lichens composant souvent de belles plages colorées.

Végétation en mosaïque et souvent clairsemée durant plusieurs années. Influence "répressive" de la faune (lapins).

Composition floristique : mélange initial d'espèces anthropiques* (introduites avec le remblai et les engins) et d'espèces locales spontanées.

Possibilité de germination de saules (*Salix acuminata*) en milieux temporairement inondés.

Zones humides : voir fiche correspondante

Espèces de friches (prairiales, arbustives) : voir fiche correspondante.

Dérive ultérieure vers le boisement : surtout bétulaie (sol maigre ou filtrant), pinède (id), saulaie (sol et climat humide), chênaie (sol profond et frais)...

Faune

Microclairières ensoleillées et cuvettes inondables : intérêt herpétologique* (Lézard vivipare, Orvet fragile, Lézard vert, Lézard gris...), et batrachologique* (batraciens, respectivement en phase terrestre* et en phase aquatique* : Crapaud commun, Crapaud calamite, Alyte, Triton marbré...)

Paroi verticale friable, stockages de sable et matériaux meubles : possibilité pour des espèces comme le Martin-pêcheur, l'Hirondelle de rivage, le Guépier d'Europe, d'y établir des terriers de nidification.

Très bonnes potentialités pour insectes terricoles* et fousseurs*.

Contraintes liées aux usages éventuels

Les parois en pente forte sont un facteur d'insécurité, mais les reliefs irréguliers en zone terreuse constituent un terrain attractif pour le moto-cross (entraînement, ...).

Dans ce cas, il importe de délimiter quelles parties des remblais seront consacrées à cette activité, et de vérifier avant toute intervention perturbatrice, auprès des naturalistes locaux ou régionaux, qu'elle n'interfère pas avec des sensibilités faunistiques ou floristiques déjà présentes (ou avec d'autres usages du site).

Le pied des remblais, est souvent une zone particulière (accumulation de particules fines, de nutriments et d'eau), favorable à une végétalisation (boisement ou prairie grasse) qu'on peut mettre à profit au titre de la valorisation paysagère du site.

Le remblai stratégiquement situé est aussi, le cas échéant, un bon poste d'observation ornithologique*.

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- définir les zones où les affleurements de roche-mère sont à conserver (configurations utiles à d'autres titres, zones d'intérêt visuel, etc...) sans remblaiement, et éviter de les perturber (passages d'engins, dépôts provisoires...) durant les phases ultimes de l'exploitation.

- définir les zones où il sera possible de préserver jusqu'à la fin de l'exploitation des "corridors" * (bas-fonds, fossés, lisières) non remblayés, et les zones où l'on peut créer artificiellement ces corridors*.

- définir les zones à "paysager" artificiellement (près des entrées de site, par exemple) et celles où l'usage agricole est privilégié.
- définir des zones où il est possible, sans inconvénient, de ne pas "réintervenir" sur un remblai déjà installé, de manière à laisser le temps à la recolonisation spontanée : mettre au point un plan de gestion des matériaux permettant cette optimisation. Contrôler par quelques tailles d'éclaircie les excès d'embroussaillage, en particulier sur les fronts de remblais.
- décompacter les parties du remblai où l'on souhaite favoriser une végétalisation rapide et un enracinement profond (arbres feuillus exigeants type chênes, hêtres, ...).
- le cas échéant, en cas de plantation, remonter un pH trop acide (chaulage).
- ne pas chercher à homogénéiser les matériaux (mélanges). Mieux vaut plusieurs remblais effectués à des dates différentes, avec des matériaux franchement différents, qu'une intervention qui "lisserait" la diversité des biotopes*.
- en ce qui concerne les stocks de terre végétale, leur dépôt "selon les règles" implique qu'une surface souvent importante leur soit réservée. On veillera à bien distinguer la terre végétale (horizons supérieurs du sol, en général 20 à 30 cm) des terres arables (50 cm et plus) et des altérites ou dépôts de couverture (terres de découverte, pouvant atteindre plus d'1 mètre dans les cas de roches altérées et plusieurs mètres dans les régions à dépôts superficiels - limons, argiles, sables...). Les terres de découverte peuvent être de faible valeur agricole et biologique (caractère caillouteux, ou asphyxiant, horizons lessivés très pauvres en nutriments, etc...).

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

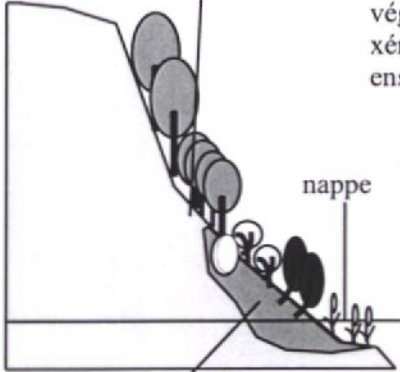
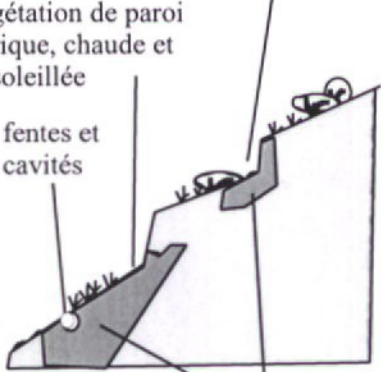
projet de remblayer pour mise à niveau

- ces remblais sont-ils esthétiquement préférables au site supposé "renaturé" ?
- la remise à niveau tient-elle compte de l'opportunité d'aménager des zones humides ?
- le remblai devra-t-il faire disparaître des milieux qui, entre temps, seront devenus d'intérêt écologique ?
- quelle peut être l'originalité des fonds de fouille et des affleurements rocheux par rapport au paysage environnant ?
- compte tenu des constats en cours d'exploitation, y-a-t-il des affleurements fossilifères dont l'accès ultérieur est à préserver ?
- dispose-t-on d'un stock de "terre végétale" pour faciliter la reprise et la croissance des plantations envisagées ?
- les matériaux de remblai nécessaires à telle intervention n'auraient-ils pas meilleur usage (par exemple atténuer la profondeur d'une partie des zones en eau ?)
- les matériaux une fois stockés peuvent-ils être valorisés (création de mares, aménagement d'un espace de loisir, plantations et engazonnement...) plutôt qu'à nouveau déplacés ?

projet de révégétaliser par engazonnement

- "verdir" artificiellement est-il indispensable ?
- quelle est la composition du semis à utiliser pour éviter une banalisation du site ?
- compte tenu des constats en cours d'exploitation, les zones anciennes existantes ne sont-elles pas déjà d'intérêt faunistique ou floristique ?
- le paysage végétal avant intervention est-il stabilisé ou risque-t-il d'évoluer au détriment de l'attrait visuel ou de l'intérêt biologique du milieu ? dans ce dernier cas, pourrait-on envisager un pâturage par accès libre, ou par convention, avec les agriculteurs riverains ?
- les potentialités de "verdissement" naturel éviteraient-elles des interventions inutiles ?
- a-t-on prévu d'assurer un circuit de promenade dans les espaces libérés ? à quelle condition sera-t-il maintenu en état ?

PENTES

Biotopes des pentes	
Pente exposition Nord	Pente exposition Sud
<p>végétation de paroi ombragée, humide et fraîche</p>  <p>éboulis fixés, blocs, chaos, cavités</p>	<p>végétation de paroi xérique, chaude et ensoleillée</p> <p>ravine d'érosion</p> <p>fentes et cavités</p>  <p>zones meubles propices à l'érosion et aux effondrements</p>

- | Limiter le boisement, en particulier en exposition Sud, et l'optimiser au Nord et à l'Ouest
- | Faire varier les pentes
- | Ménager les zones pierreuses riches en cavités
- | Laisser du temps à la végétation spontanée
- | Intégrer visuellement certaines parois nues

Principes d'aménagement

Limiter le boisement, en particulier en exposition Sud : les pentes exposées au Sud sont favorables aux espèces végétales et animales recherchant la chaleur et l'ensoleillement. En Basse-Normandie, il s'agit d'espèces dites "thermophiles"* qui sont souvent à répartition géographique limitée, voire rares. Il est donc primordial de ne pas boiser ces pentes, pour éviter de détruire des milieux à potentialités qualitativement importantes. **L'optimiser au Nord et à l'Ouest** : les pentes exposées Ouest ou Nord peuvent en revanche être partiellement replantées avec moins d'inconvénients : facteur de diversité et de qualité du paysage, les plantations sont aussi une opportunité pour créer des zones d'intérêt alimentaire pour la faune (oiseaux, insectes, écureuils...). On pensera à tous les aspects utiles : baies et fruits secs, graines et arilles, pollen et nectar des essences mellifères* (châtaignier, tilleul, robinier...), etc...tout en gardant à l'esprit que certaines espèces présentent des inconvénients sur d'autres plans (tendance envahissante du robinier, par exemple, en sols meubles).

Faire varier les pentes : ce principe est valable aussi bien dans l'espace que pour une même paroi en pente. A chaque intensité de déclivité sa capacité de supporter un couvert végétal lui-même de densité et de composition variées. Il est intéressant pour l'avifaune* d'aménager aussi quelques parois subverticales.

Ménager les zones pierreuses riches en cavités : il s'agit des milieux de prédilection pour nombre d'espèces animales et végétales. On évitera de les faire disparaître à l'occasion des profilages et des plantations.

Laisser du temps à la végétation spontanée qui va progressivement s'introduire : friches herbacées, lichens et bryophytes*, ligneux (saules, prunelliers, aubépines, ajoncs, genêts, etc...). Il est important que dans toute carrière, quelques espaces soient laissés à la spontanéité de la nature. Les pentes, selon leur intensité et la nature du sol (roche massive affleurante, matériaux

importés meubles, dépôts de stériles rocheux, etc...) seront toujours colonisées progressivement par certaines catégories de végétation. Dans le cas des parois sableuses très érodables ou limoneuses très compactes, cette colonisation s'exerce à longue échéance. Ce processus est d'autre part rallongé en exposition Sud ou Est, plus sèche.

Intégrer visuellement certaines parois nues : la végétalisation d'origine naturelle étant lente, on peut avoir intérêt, en revanche, à raccourcir ce laps de temps pour donner au site un "caractère" moins artificiel. Ceci peut s'appuyer sur les pratiques suivantes: gabions et murets, terrasses et gradins, engazonnement par projection, préverdissement par plantations. Sélectivement compte tenu des considérations précédentes, on pourra ainsi favoriser une perspective privilégiée dans certaines parties de la carrière. Les plantations seront basées en priorité sur des essences locales et les pelouses seront de composition la plus naturelle possible, avec une faible densité de graines (éviter l'effet "pelouse urbaine" dans un site en pleine campagne, sauf si la carrière est destinée à une activité de loisir) et une faible proportion de ray-grass.

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de falaises et dalles rocheuses, replats humifères*...riches en lichens et bryophytes*. En mosaïque avec bien d'autres habitats (fourrés, landes sèches, landes mésophiles, pelouses rases à canche précoce (*Aira praecox*) ou à agrostide capillaire (*Agrostis capillaris*), prairies grasses banalisées dont faciès à tussilage (*Tussilago farfara*), etc....

orpins (*Sedums*) sur dalles rocheuses, herbacées de prairies sèches - selérie (*Sesleria cœrulea*), fétuque (*Festuca lemanii*), knautie des champs (*Knautia arvensis*), origan (*Origanum vulgare*), gaillet mou (*Galium mollugo*), en milieu calcaire, houlque (*Holcus lanatus*), dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*), en milieu acide, géranium (*Geranium robertianum*) et d'autres plantes forestières en exposition plus ombragée, divers ligneux selon l'exposition : frênes, chênes, hêtres, bouleaux, saules, sorbiers, ...en exposition Nord ou Nord-Ouest, et d'abord budleïa, puis bouleaux, pins, prunelliers, aubépines, pins, chênes...en exposition Sud ou Sud-Est. Beaucoup de ces espèces ont un intérêt entomologique (*Budleïa* par exemple, pour les papillons). Les éboulis frais sont colonisés par la frênaie à scolopendre.

Espèces thermophiles* : cf. petite coronille (*Coronilla minima*), anthyllide (*Anthyllis vulneraria*), nombreuses orchidées sur les pentes calcaires...et en fourrés : sorbier à larges feuilles (*Sorbus latifolia*).

Faune

Exposition Sud : intérêt en particulier pour reptiles et insectes thermophiles* (Cicindèles, Criquets, Lépidoptères...).

Boisements Nord : intérêt ornithologique* (nidification de rapaces...).

Eboulis et zones meubles : intérêt pour les gastéropodes*, araignées, insectes... et la nidification du Traquet motteux, de la Chouette chevêche, de la Huppe, de la Bergeronnette grise...

Gîtes, refuges, reproduction des petits carnivores (Hermine, Fouine, Belette, Putois...), lièvre, lapin... et phases terrestres d'amphibiens (*Calamite*, *Alyte*...).

Contraintes liées aux usages éventuels

Pas d'usages spécifiques à ces milieux en pente, dont le statut est par ailleurs très variable selon la nature du sol (stériles, remblais, parois excavées, ...).

Dans certains cas la sécurité impose de dissuader tout accès aux pentes même après la fin de l'exploitation (roches friables - schistes, quartzites, certains calcaires).

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- définir les espaces appelés à rester en l'état après extraction (pas de remaniement lors des phases ultérieures) et les réserver en priorité à la colonisation spontanée ;
- prévoir des dispositions d'intégration visuelle à proximité de l'entrée de carrière, et pour les parois qui, en fin de création, seront trop visibles de l'extérieur du site (plantations à caractère ornemental, pelouses naturelles...) assurant une transition avec les espaces utilitaires ou les paysages avoisinants ;
- préalablement aux plantations, délimiter les zones de rocaille riches en cavités où éviter de boiser ;
- faire un bilan des diverses expositions des pentes qui seront créées, bilan révisé périodiquement et en cas d'extension, et déterminer ensuite leur "traitement" ;
- tenir compte de l'intérêt des pentes sèches et chaudes à préserver avant de localiser l'emplacement d'un remblai.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de terrasser en pente douce ou de régaler pour un usage agricole ou de loisir

les zones de nidification existantes pourront-elles être respectées dans le projet ?

les biotopes intéressants en voie de création seront-ils conservés ?

le stock de matériaux est-il utilisable ailleurs sur le site en fin d'exploitation (cf. zones en eau) ?

l'usage agricole est-il le seul possible ? est-ce le "bon choix" en termes d'aménagement du territoire ?

quel sera l'entretien ultérieur du site ? y-a-t-il des risques de friche inesthétique ?

la fréquentation de telle ou telle partie du site par l'homme est-elle souhaitable ?

N'y-a-t-il pas des espaces à préserver pour la faune ou la flore lors des stades ultimes, et lesquels ?

projet de "laisser en état"

l'usage des matériaux inévitablement entassés a-t-il été étudié ? est-il optimisé ?

la diversité esthétique du site est-elle prise en compte ?

sera-t-il possible d'entretenir les pentes et pierriers ou fait-on consciemment le choix de les laisser évoluer ?

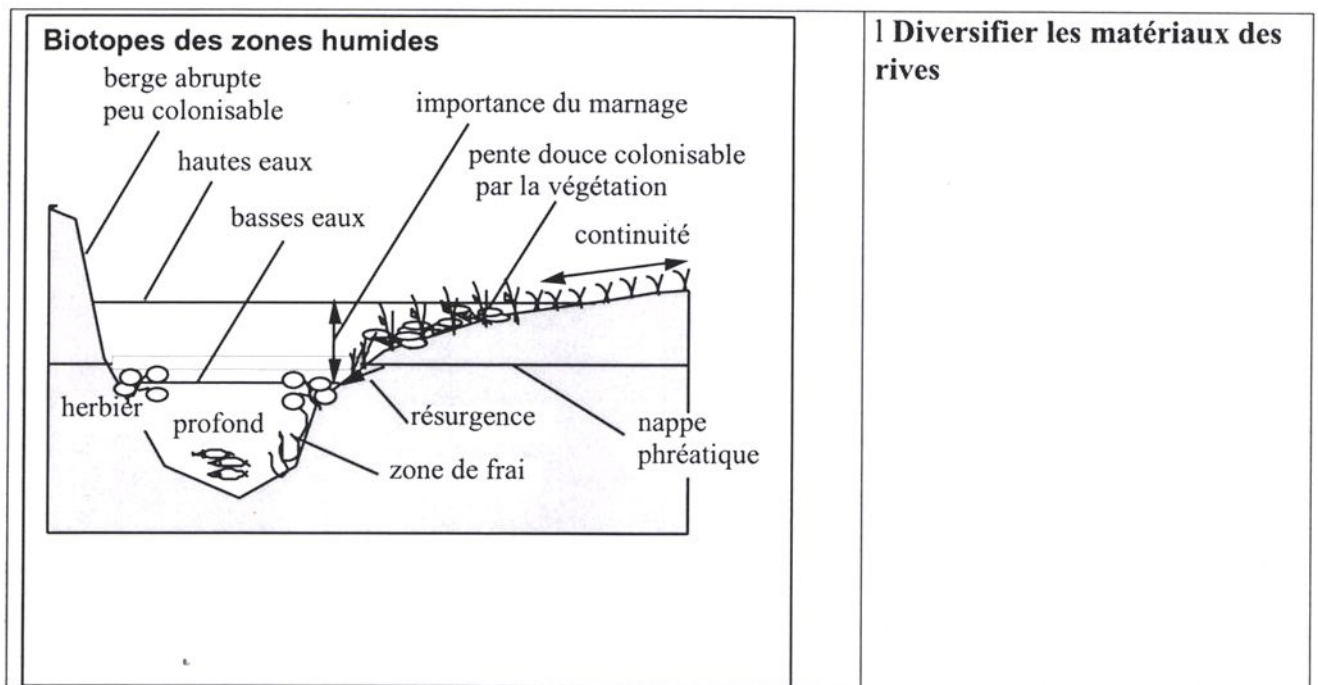
qu'en est-il de l'accès pour les éventuels visiteurs (sécurité, circuit de promenade continu, ...) ?

ZONES HUMIDES ET PLANS D'EAU

Dans la plupart des cas, l'extraction en fosse profonde engendre une exploitation sous le niveau de nappe, et donc l'apparition ultérieure à la fin du pompage, d'un ou plusieurs plans d'eau néoformés. Le projet d'exploitation induit (en termes de surface, mais aussi de profondeur et de périmètre) la configuration des zones situées sous la cote piézométrique* d'équilibre à chaque saison (différencier au moins l'étiage et les hautes eaux d'hiver). La qualité des eaux (pH, conductivité, charge en bicarbonates...) peut également, en règle générale, être précisée d'avance. Pour cette raison, il est possible de prévoir quelles seront ces zones humides, d'une part en absence d'interventions de reprofilage ou de remblaiement, d'autre part, compte tenu de la vocation du site et des aspects environnementaux que le carrier souhaite valoriser, en modifiant en cours d'exploitation du site ou en fin d'exploitation certaines de leurs caractéristiques. Pour des raisons de sensibilités biologiques, les zones humides doivent être l'objet d'une attention toute particulière, l'état d'esprit essentiel réside dans la recherche de leur optimisation écologique (trop souvent, exclusivement paysagère) et non dans leur comblement. Ceci n'est cependant pas toujours possible dans la marge de manœuvre du phasage de la carrière. Ces plans d'eau dépendant du processus d'exploitation ne sont pas concernés par les autorisations de création la loi sur l'eau, mais les conditions de leur évacuation si elle existe (cas de surverses en rivière...) en cours d'exploitation, ainsi que leur conservation in fine, peuvent en dépendre (en cas d'orientations contraires dans le SDAGE, par exemple).

1 - cas des petites zones

	<ul style="list-style-type: none">l Assurer des continuitésl Aménager des pentes doucesl Préserver des pentes abruptesl Laisser ou créer des profondsl Eviter de boiser les rivesl Diversifier les superficies en eaul Eviter les formes géométriquesl Préserver la qualité des eaux
--	---



La plupart des petites zones humides et mares issues des carrières sont simplement liées à l'accumulation des eaux météoriques et des ruissellements de surface (sur le carreau et les pentes). Il est en effet très rare que l'exploitation s'arrête juste à l'affleurement du niveau d'équilibre piézométrique*. Ces petits plans d'eau subissent alors des marnages relativement prononcés (plusieurs décimètres) et ne communiquent pas avec le réseau hydrographique. Ils sont en général peu profonds au moins pour une part. Leur création ou leur extension sont en général faciles à réaliser.

Principes d'aménagement

Assurer si possible une continuité avec d'autres zones humides : pour faciliter la recolonisation (animale et végétale) et permettre l'obtention de populations vertébrées viables, il est nécessaire de permettre le "franchissement" entre plusieurs points d'eau (fossés, même temporaires, bandes enherbées inondables en hiver, buses de diamètre suffisant pour le passage de petits animaux, assurant une communication entre diverses parcelles ou parties de zones humides).

Aménager des pentes douces : (pente douce = pente de l'ordre de quelques ‰ à quelques %), ce qui implique que le niveau de ces pentes douces terrassées soit celui de la zone de marnage*. Sous l'eau en permanence, il s'agit d'un "haut fond" mais il présentera moins de biodiversité ; émergé en permanence, il s'intègre aux friches et prairies sèches ou mésophiles* et non à la zone humide.

Préserver des berges abruptes : en alternance ou en opposition d'exposition avec les précédentes. Utiles à l'avifaune* à condition qu'elles soient en matériaux meubles, et pour ménager des berges non végétalisées à l'excès.

Laisser ou créer des profonds : indispensables sur le plan piscicole (> 2m) (permettent de garantir des zones d'eau fraîche (plus oxygénée) en été). Favorable aux oiseaux plongeurs, si la surface est suffisante (>1,5 à 2 ha).

Eviter de boiser à moins de 10 m des rives : elles se boiseront toujours trop tôt ! Préférer l'apparition "naturelle" d'essences locales d'arbres et arbustes à des plantations intempestives (exotiques) : celles-ci maintiennent le site dans une perception artificielle et contrastent souvent beaucoup avec la végétation spontanée. Sauvegarder l'ensoleillement de l'eau libre.

Diversifier les superficies en eau : cette dernière disposition n'est pas toujours possible dans un site donné. Dans ce cas, on se renseignera auprès des personnes-ressources (naturalistes et scientifiques) sur les besoins prioritaires en la matière, qui peuvent varier du trou d'eau à l'étang en passant par une mare.

Eviter les formes géométriques : conditions pour optimiser les lisières (et favoriser ainsi la biodiversité*) car l'essentiel de la diversité et de la productivité* d'un plan d'eau proviennent des bordures.

Préserver la qualité des eaux : éviter le contact avec une rivière polluée ou des effluents incontrôlés (la qualité des nappes n'est malheureusement pas toujours meilleure)... Dans le cas où une nappe est "mise à jour" au cours de l'extraction, l'éventuel remblai du trou sera réalisé uniquement avec des matériaux inertes (éviter des terres d'origine agricole). Rappelons aussi qu'une zone humide dense en végétation est un excellent filtre contre des excès de turbidité* ou de nutriments* facteurs d'eutrophisation*.

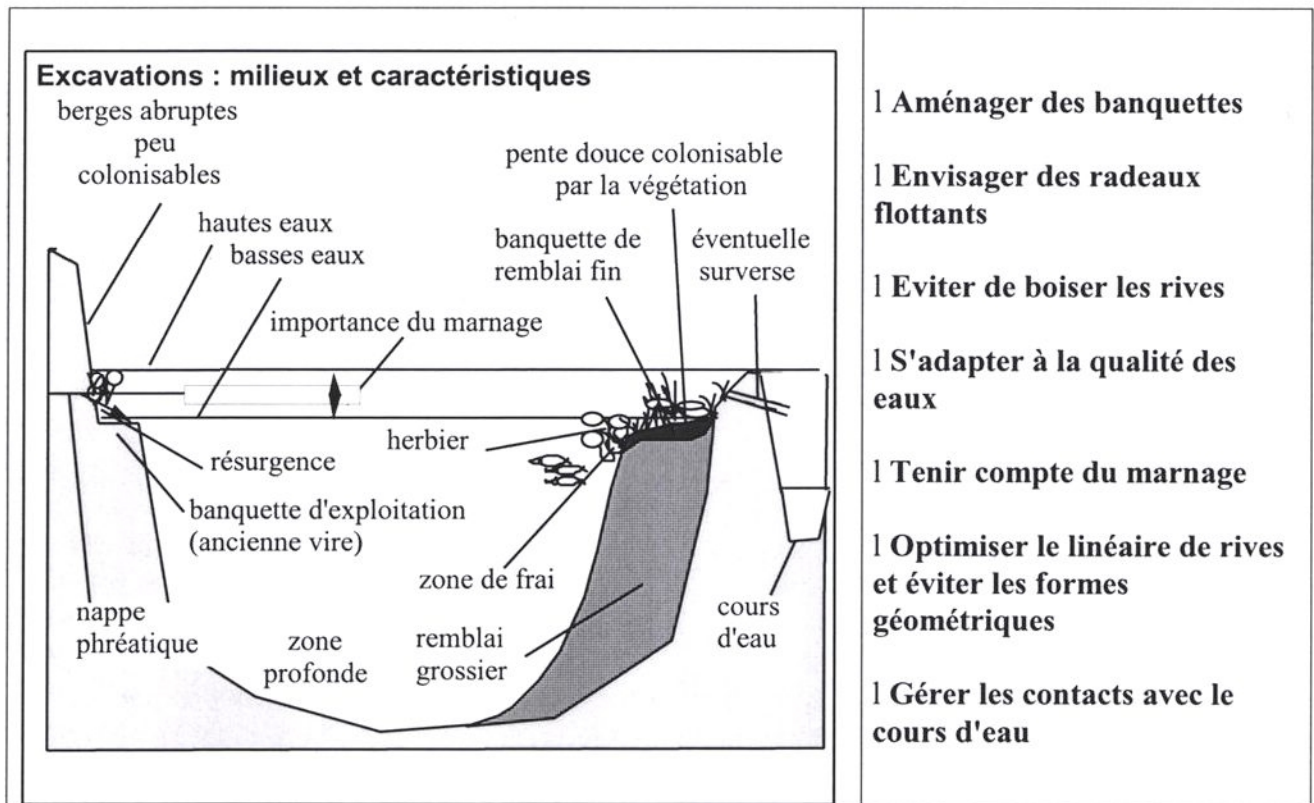
Diversifier les matériaux constitutifs des rives : des rives limoneuses très fines aux rives en cailloux et graviers, chaque catégorie de milieu présente des potentialités écologiques différentes. Le paysage constitué par la colonisation végétale présentera ensuite des perspectives diversifiées : la perception du site en bénéficiera.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de créer un paysage attrayant

les mares spontanément apparues en cours d'exploitation peuvent-elles être préservées ?
les bassins de réception des eaux seront-ils aménageables pour en faire des zones humides ?
l'attrait du paysage est-il clairement défini ? s'agit-il de généraliser un aménagement standard, ou de diversifier ?

2 - cas des grandes excavations profondes



Ces grandes excavations sont en général remplies par remontée de nappe en fin de pompage. L'exploitation descend le plus souvent très en-dessous du niveau d'équilibre piézométrique, générant des profondeurs de plusieurs mètres. Le marnage est approximativement celui de la nappe de contact, la surface d'eau libre jouant par ailleurs un rôle accru pour l'évaporation. Les eaux souterraines prédominent par rapport aux eaux météoriques et au ruissellement, du même coup le temps de séjour des eaux est important. Ils peuvent être ou non en communication avec le réseau hydrographique, sachant que dans le premier cas ceci doit être justifié et conforme au contexte réglementaire (ce qui peut entraîner des limites pour l'exploitation). Dans la mesure du possible, on exclura toute communication pour préserver la qualité du milieu d'eaux courantes, et on prendra soin d'éviter les contaminations de la rivière par des peuplements d'eaux stagnantes, à l'aide de dispositifs tels que grilles fines, filtres de sables et cailloux de granulométrie limitée et d'épaisseur suffisante...

Principes d'aménagement

Aménager des banquettes : pour que le plan d'eau présente une allure attrayante, qu'il puisse être agrémenté de zones humides riveraines et assurer un minimum de production biologique (fraye, et nutrition des alevins, intérêt pour l'avifaune et la flore), la présence de banquettes subhorizontales de faible profondeur est nécessaire (environ 5 m de large, entre 0 et 1,50 m de profondeur au printemps). Au-delà de 2m à 2,50m (par rapport au niveau d'étiage), la productivité biologique devient trop faible pour soutenir une population suffisante de poissons. Des banquettes peuvent être constituées à partir d'anciennes vires prévues un peu en dessous de la cote de mise en eau, ou néoformées en remblayant des parties de rives (moyennant d'importantes quantités de matériaux). Celles-ci peuvent être aménagées, en particulier, en réutilisant ainsi une partie des stériles issus de l'extraction. On veillera dans ce cas à déposer près

de la surface au moins 30 à 50 cm de matériau plus fin (mais éviter les argiles, la terre végétale, préférer sables fins ou apports limono-sableux).

Si l'exposition et la localisation de la carrière favorisent des eaux agitées (batillage) pour éviter l'érosion de ce dépôt, il faudra un micro-talus de blocs protecteurs en front de banquette, face au large.

Il n'y a pas de proportion de superficie à respecter, mais plus elles seront développées, plus le plan d'eau sera biologiquement riche. Quelques dizaines de m² peuvent suffire à la présence d'une diversité floristique et faunistique intéressante (insectes, autres invertébrés, passereaux, limicoles, batraciens...) mais resteront limitants sur le plan quantitatif. En cas d'usage envisagé pour la pêche, des hauts-fonds plus étendus doivent être prévus (quelques centaines de m².) Si la configuration de l'extraction le permet, il est idéal de prévoir un haut-fond au milieu du plan d'eau, moins aisé d'accès pour les prédateurs et pour l'homme, une partie émergée constituant en outre un élément de valorisation paysagère. Mais cette éventualité nécessiterait de préserver de l'exploitation une masse rocheuse, ce qui sera rarement acceptable sur le plan économique.

Envisager des radeaux flottants quand c'est possible (voir des îlots, même s'ils sont à peu de distance des berges). Ces structures sont des milieux privilégiés, voire indispensables, pour la nidification de certaines espèces d'oiseaux d'eau qui y trouvent une sécurité vis à vis du dérangement (on note cependant que l'accès des ragondins et d'autres prédateurs est possible - renard, sangliers...).

Eviter de boiser à moins de 10 mètres des rives : elles se boiseront toujours trop tôt ! Préférer laisser faire l'apparition "naturelle" d'essences locales d'arbres et arbustes à des plantations intempestives. Elles étoufferaient la bordure de végétation palustre* et aquatique limitée dans ces grands plans d'eau à la largeur de la banquette littorale.

S'adapter à la qualité des eaux : si la profondeur du plan d'eau peut obliger à en limiter l'accès (pour des raisons de sécurité) et les usages (seules les rives sont aménageables), la qualité des eaux constitue souvent également un facteur limitant. Les eaux trop acides, et pauvres en nutriments, sont défavorables à la vie piscicole et en général aux chaînes alimentaires*, sauf celles basées sur les détritivores* (consommateurs de matières en décomposition)... à condition qu'il ait été prévu une rive en "banquette". Plutôt que de prévoir des aménagements pour la pêche, et un rempoissonnement hasardeux, pourquoi ne pas envisager la reconstitution d'une tourbière de bord d'étang ?

Autre solution : délimiter par création d'anses peu profondes, des parties en eau où un apport artificiel destiné à remonter localement le pH (pH_ 6,5) est envisageable (chaux). Il n'est en revanche guère envisageable de maîtriser des modifications substantielles de la qualité de l'eau d'une carrière d'une vaste dimension.

Tenir compte du marnage* : un battement de nappe important entre l'été et l'hiver présente de sérieuses contraintes : difficulté pour la végétation de s'implanter en berges ; risque de zones à nu inesthétiques, pendant l'été ; établissement de banquettes sous le seuil d'assec printanier mettant à nu les lieux de fraye* ; effondrements de berges instables, etc...

De plus, l'aménagement paysager doit tenir compte du fait que le niveau d'hiver n'est en général pas la référence à privilégier (fréquentation du site surtout en belle saison).

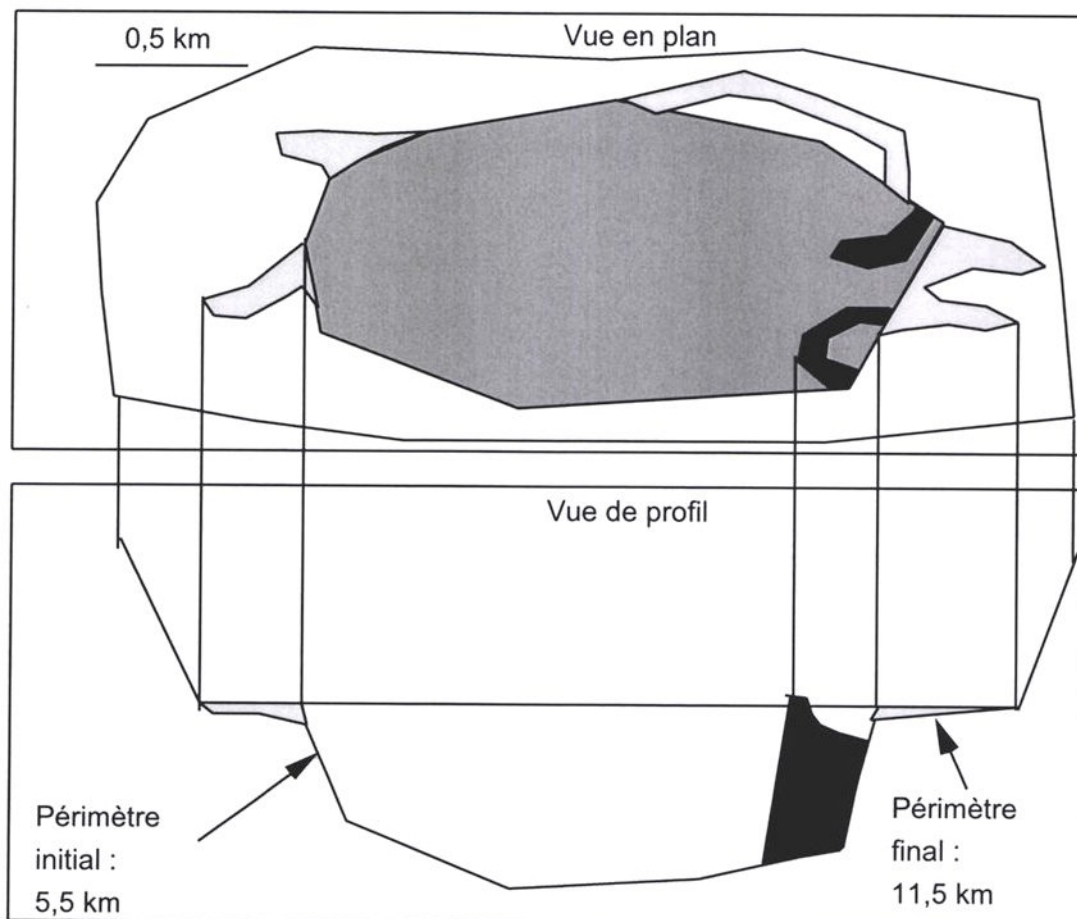
Optimiser le linéaire de rives et éviter les formes géométriques: l'attrait paysager final, le développement de la productivité* biologique, et la diversification écologique, méritent de favoriser "l'effet de lisière". De plus, ceci facilitera la réservation de secteurs pour la faune (accès interdit) tandis que la vocation du plan d'eau pourra être distribuée en plusieurs sous-ensembles (plan d'eau polyvalent). Pour briser l'excès de géométrie du plan d'eau, la création artificielle de

petites anses, de levées, d'irrégularités, voire de chenaux, devrait être envisagée dès que le niveau final qui sera celui de stabilisation après mise en eau, est atteint durant l'exploitation.

Gérer les contacts avec le cours d'eau : si un cours d'eau existe à proximité de l'excavation, il se peut qu'il n'y ait aucun contact direct avec le plan d'eau. Dans ce cas, il est parfois préférable de ne pas en créer, en raison des problèmes de qualité des eaux, que ce soit du cours d'eau vers la carrière ou réciproquement. Mais il peut, à l'inverse, s'avérer souhaitable de le faire, soit pour assurer une surverse en cas de trop-plein (régulation du niveau des eaux), soit pour permettre une amélioration de qualité du plan d'eau (si le pH est plus acide, mais à condition que cette acidité n'atteigne pas des valeurs inconciliables avec l'écosystème* aquatique ou les usages du cours d'eau : se baser sur un seuil de l'ordre de 6).

Dans tous les cas, la création d'un contact avec des débits même intermittents, en provenance de la carrière, est soumise à notice d'incidence. En cas d'eutrophisation*, on privilégiera un trop-plein par soutirage des eaux (entre 2 et 5 m de profondeur) pour éviter le rejet d'eaux chargées de matières organiques. De plus, leur température est plus constante en profondeur (même si, en principe, la thermocline* ne commence qu'au-delà de 5m environ). En cas d'usage piscicole, pour éviter toute contamination directe d'un cours d'eau par des espèces de poissons introduites, il est souhaitable de faire transiter l'eau par un lit filtrant (cailloutis de granulométrie d'environ 10 cm sur une épaisseur de l'ordre de 5m).

Comment doubler le linéaire de rives



Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de grèves exondables - bident (*Bidens sp.*), coléanthe (*Coleanthus subtilis*), pilulaire (*Pilularia globulifera*), espèce protégée au niveau national... avec parfois, une diversité temporaire élevée.

Végétation des ceintures d'étangs : phénomène de colonisation par préemption de niche* ; risque de dominance de quelques espèces d'hélophytes*, comme la massette (*Typha latifolia*), le roseau (*Phragmites australis*), le faux-roseau (*Phalaris arundinacea*), puis diverses espèces de mégaphorbiaies* - épilobe (*Epilobium sp.*), angélique (*Angelica sylvestris*), reine des prés (*Filipendula ulmaria*), jonc épars (*Juncus effusus*)... ; la diversité peut devenir élevée à moyen ou long terme (10 ans). Dans les ceintures prairiales hydromorphes*, potentialités d'orchidées d'intérêt patrimonial - épipactis des marais (*Epipactis palustris*), orchis incarnat (*Dactylorhiza incarnata*),... en terrain calcaire, orchis négligé (*Dactylorhiza praetermissa*), orchis tacheté (*D. maculata*), ... en terrain neutre ou acide.

Possibilité de germination du saule (*Salix acuminata*) en milieux temporairement exondés.

Nombre d'espèces végétales aquatiques et palustres* sont introduites par les animaux (en particulier les oiseaux) : potamots (*Potamogeton*), nénuphars (*Nuphar*, *Nymphaea*), myriophylles (*Myriophyllum*)... A leur tour ces herbiers constituent des milieux de prédilection pour la fraye* des poissons. Dans les grands plans d'eau profonds, les herbiers sont des plus réduits (frange rivulaire*) en raison du caractère inhospitalier des eaux profondes (manque de lumière en particulier), d'où l'intérêt de saisir l'occasion de générer des banquettes de rives subhorizontales ou des hauts-fonds dès que la disponibilité de matériaux le permet. Rien que pour favoriser ces milieux de faible profondeur, on pourra créer de toutes pièces quelques fossés ou quelques mares (dont certaines en communication avec le plan d'eau principal) dans des délaissés. En cas d'ouverture au public, cette opportunité est également utile pour rendre praticable aux visiteurs par drainage des zones d'engorgement (voisinage de l'entrée de site, des parkings, etc...). On évitera toutefois ces opérations si les zones humides en création sont uniques dans le site, auquel cas il faut au contraire les respecter (intérêt potentiel pour la faune et la flore).

Espèces de friches (prairiales, arbustives) : voir fiche correspondante.

Dérive spontanée vers le boisement : bétulaie (sol maigre et à niveau variable), saulaie-aulnaie (sol et climat humides), chênaie (sol profond et frais)... Le chêne pédonculé supporte bien des inondations en période de repos végétatif, et au printemps si elles sont brèves.

Faune

Intérêts ichtyologique* et piscicole (avec variété de milieux aquatiques répondant aux différentes exigences des espèces : hauts-fonds, couches sablo-graveleuses, herbiers, grèves inondées, etc...).

Intérêts batrachologiques* : à condition que la végétation rivulaire* et les herbiers aquatiques soient bien présents (supports de ponte et de développement larvaire, zones-refuges et zones de frai...).

Intérêt herpétologique* : couleuvre vipérine, couleuvre à collier...

Intérêt ornithologique* : oiseaux d'eau* en transit migratoire*, en hivernage*, en nidification, en estivage... Les grands plans d'eau sont plutôt utilisés en reposoir* ou en halte migratoire*, sauf pour les oiseaux piscivores* (cormorans, grèbes) qui plongent pour se nourrir de poissons. Les petites pièces d'eau peuvent être de bonnes zones de gagnage* pour les canards de surface*, et les limicoles*, si des rives peu profondes s'y développent. Les canards plongeurs* préféreront des zones intermédiaires à profondeur moyenne.

Intérêt mammalogique* : mammifères d'eau douce dont certains prestigieux, Loutre par exemple...

Intérêt entomologique : nombreuses espèces d'hétéroptères* et coleoptères* aquatiques, larves et imagos d'odonates* et d'éphéméroptères*, etc...

Contraintes liées aux usages éventuels

Les plans d'eau peuvent être utilisés à des fins piscicoles ou de loisirs.

Dans ce cas, il importe de délimiter quelles parties des plans d'eau seront consacrées à chaque activité, et de vérifier avant toute intervention perturbatrice, auprès des naturalistes locaux ou régionaux, qu'elle n'interfère pas avec des sensibilités faunistiques ou floristiques déjà présentes. La pêche nécessite l'aménagement d'accès, voire de pontons, l'empoissonnement, et le contrôle des herbiers* et de la végétation d'hélophytes*. C'est un facteur de dérangement pour les oiseaux. En outre, la présence de poissons constitue souvent un frein à la diversité batrachologique*, par prédation* des adultes et de leurs formes larvaires ou de leurs pontes, ou indirectement (perturbations, voire consommation, des herbiers utilisés pour la ponte).

Les loisirs liés à l'eau (nautisme, pédalos, baignade) sont soumis à des règlements précis sur le plan de la qualité des eaux et doivent faire l'objet d'autorisations (contacter la DDASS ou le service instructeur chargé de la police des eaux).

Ce sont des facteurs de dérangement incoercibles pour la faune et des facteurs d'altération des berges (turbidité*, piétinement...) et de leur végétation. Il est donc préférable, dans les carrières où n'existe qu'un petit plan d'eau, d'éviter de mélanger les genres... Les berges abruptes peuvent en outre présenter des problèmes d'insécurité et leur accès doit être proscrit (ou dissuadé).

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- prévoir des rives diversifiées et des "queues" (certaines abruptes, d'autres en pentes douces, de largeur variable) lorsqu'on atteint le niveau du marnage* (ce qui peut faire "perdre" un peu de place). Celui-ci est en principe, celui de la nappe phréatique, mais en cas de roche massive très imperméable, il peut y avoir accumulation d'eau incidente non raccordée aux niveaux piézométriques* avoisinants, au moins en période hivernale.

- les pentes douces peuvent être façonnées *a posteriori*, après régalage* et optimisation de l'exploitation. Ce sera souvent le cas dans les dernières zones exploitées. Elles peuvent exister "naturellement" du fait des contraintes mêmes du gisement : exemple des carreaux d'exploitation, au sein desquels des bas-fonds où s'accumulent les eaux de ruissellement fournissent d'excellents biotopes* de zones humides. Dans ce cas, il vaut mieux en préserver une partie de tout remaniement ultérieur ou de remblaiement, afin de bénéficier de leur recolonisation naturelle durant l'exploitation restante.

- ces zones humides "spontanées" sont prévisibles du fait de la nature étanche du substratum et de la topographie finale. Elles peuvent être "temporaires" si la carrière exploite sous le niveau phréatique, car en fin d'exploitation le niveau remontera rapidement et ennoiera toute la zone de fond. Dans ce cas, un suivi en cours d'exploitation fournit des éléments de référence quant à la végétation spontanée. Des transferts de cette végétation (semences, boutures, rhizomes, plants...) jusqu'au niveau de marnage* final, pourront être intégrés à la réhabilitation ultime du site avant l'arrêt du pompage.

- définir les espaces d'intérêt paysager où la reconstitution de zones humides est possible à moindre coût, dès lors qu'elle est phasée par l'exploitant. On notera que souvent, en pied de front, apparaissent des zones humides (résurgences) qui évitent aussi les accès intempestifs sous les zones susceptibles de chutes de pierres ou éboulis. Malheureusement, il est souvent impossible d'éviter que ces zones soient ultérieurement ennoyées profondément lors de l'abandon du site.

- le cas échéant, il suffit de quelques heures de pelle mécanique et de scraper pour configurer un beau petit trou d'eau qui, progressivement, représentera un milieu essentiel sur le plan écologique à l'échelle locale (voire régionale). Préserver un "territoire" de quelques centaines de m² judicieusement localisé pour bénéficier des eaux de ruissellement, sans obérer le fonctionnement de l'exploitation. Dans le cas de substratum calcaire, en raison des risques d'infiltration, une bonne précaution consiste, cependant, à étanchéifier le fond par un dépôt d'argile.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de laisser le fond de fouille se remplir en fin d'exploitation

cet abandon est-il gérable, par exemple peut-on envisager de limiter la remontée du niveau, et comment ?

quel serait le meilleur niveau (cote NGF) à obtenir pour optimiser la qualité du site ?

à quoi destine-t-on le plan d'eau ? (pêche, loisirs, réserve...)

la communication avec la rivière est-elle possible, et si oui de quelle manière la réguler ?

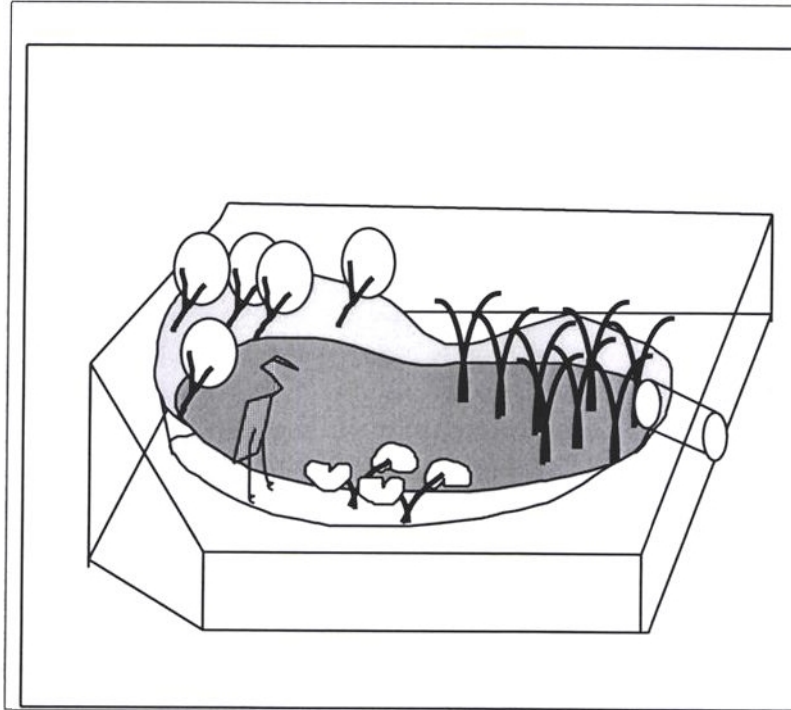
projet d'aménager un site de pêche

la qualité des eaux est-elle compatible avec une vocation piscicole ? (cf. eaux trop acides)

une autre vocation (par exemple : création de milieu tourbeux) est-elle étudiée ?

pour qu'il y ait des frayères, le façonnement partiel en rive, de banquettes subhorizontales à faible profondeur, est-il envisageable ?

BASSINS DE DECANTATION DE BOUES



- | Privilégier le boisement des grands bassins
- | Aménager des pentes douces et accès
- | Eviter l'épandage intempestif
- | Envisager la création de zones humides
- | Optimiser la réutilisation des petits bassins de réception des eaux

Principes d'aménagement

Privilégier le boisement dans les grands bassins car le substrat de fines ainsi constitué (souvent très minéral) est néanmoins utilisable par des essences rustiques telles que l'aulne - pourvu de nodosités* fixatrices d'azote -, les saules, plus ponctuellement le sapin de douglas, le cyprès chauve, etc....Les tentatives connues ont été en général réussies, sachant qu'il ne s'agit pas de constituer un boisement de rapport, mais de valoriser un emplacement libre sur le plan paysager et biologique, voire cynégétique*. On limitera cependant l'emploi des essences exotiques, même si certaines d'entre elles peuvent présenter un intérêt biologique (nidification, par exemple, pour le cyprès chauve).

Des plantations à vocation écologique (productrices de baies, de graines, de fruits secs, mellifères*...) peuvent être intercalées.

Aménager des pentes douces et des accès : (pente douce = pente de l'ordre de quelques %), ce qui optimise une colonisation herbacée diversifiée et facilite l'entretien ultérieur du site (nettoyage éventuel du sous-bois).

Eviter l'épandage intempestif : si les boues restent très fluides, elles sont quelquefois reprises et épandues par aspersion, et dans le cas contraire, pelletables, elles sont reprises mécaniquement et régaliées ou transportées sur d'autres parties du site. Cette option peut contribuer à "combler" des déficits de volumes (remblais) en assurant une épaisseur plus importante. Mais elle présente l'inconvénient de risquer la destruction de milieux intéressants (pierriers, landes, zones humides...). On la réservera aux cas où les raisons d'augmenter la surface ou l'épaisseur des dépôts sont indiscutables (mettre le sol hors d'eau et au-dessus des battements de nappe pour des usages agricoles ou forestiers, par exemple).

Envisager la création de zones humides : d'une part, dans ces bassins de dépôts de fines, qu'il est en général aisé de maintenir en eau pendant et après exploitation, se développera très facilement après quelques temps de repos une riche végétation palustre. D'autre part les excès de

boues peuvent être renvoyés sur les bords des grandes zones en eau provoquées par l'extraction, si elles sont trop profondes, pour créer des hauts-fonds et des rives en pentes douces. Après usage, il serait bon que ces bassins conservent une partie en eau : soit en évitant de les utiliser à ras bord, soit en ménageant une possibilité d'alimentation pérenne par des eaux de ruissellement.

Optimiser la réutilisation des petits bassins de réception des eaux : les eaux d'exhaure* et les eaux de ruissellement sont souvent collectées dans de bassins de plus faible dimension, pour décantation (et éventuel traitement) avant rejet en rivière. Après arrêt de l'exploitation, plutôt que les faire disparaître, prévoir de les orienter sur une création de "zone humide" palustre : pour cela, laisser une partie à faible profondeur (ou régler le seuil d'évacuation aval à quelques centimètres, ou 1 décimètre, au-dessus du fond). La végétation naturelle colonisera d'elle-même le dépôt.

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de grèves exondables - bident (*Bidens sp.*), coléanthe (*Coleanthus subtilis*), pilulaire (*Pilularia globulifera*), espèce protégée au niveau national... avec parfois, une diversité temporaire élevée.

Végétation des ceintures d'étangs : phénomène de colonisation par préemption de niche* ; risque de dominance de quelques espèces d'hélophytes*, très souvent la massette (*Typha latifolia*) ; la diversité peut néanmoins devenir élevée à terme (10 ans). Dans les ceintures prairiales hydromorphes*, potentialités d'orchidées d'intérêt patrimonial. Le peuplier contrarie ces évolutions et homogénéise le sous-bois.

Possibilité de germinations de saules (*Salix acuminata*) en milieux temporairement exondés.

Espèces de friches (prairiales, arbustives) : espèces de prairies à hautes herbes (mégaphorbiaies), fourrés (à saules, à bouleaux...).

Dérive spontanée vers le boisement : bétulaie (sol maigre et à niveau variable), saulaie-aulnaie (sol et climat humides), chênaie (sol profond et frais)...Le chêne pédonculé supporte bien des inondations en période de repos végétatif, et au printemps si elles sont brèves.

Faune

Intérêts ichtyologique* et piscicole (avec variété de milieux aquatiques répondant aux différentes exigences des espèces : hauts-fonds, herbiers, grèves inondées, etc...).

Intérêts batrachologiques* : à condition que la végétation rivulaire et les herbiers aquatiques soient bien présents (supports de ponte et de développement larvaire, zones-refuges et zones de frai...).

Intérêt herpétologique* : couleuvre vipérine, couleuvre à collier....

Intérêt ornithologique* : oiseaux d'eau* en transit migratoire*, en hivernage, en nidification, en estivage...Possibilités de nidification pour des espèces telles que ardéidés*, nidification et transits post-nuptiaux de rallidés, fauvettes aquatiques, Hironnelles, Bergeronnettes... Possibilités de dortoirs pour passereaux et apparentés, columbidés* dans les plantations, rapaces (Hibou Moyen-Duc...).

Intérêt mammalogique* : mammifères d'eau douce dont certains prestigieux, Loutre par exemple... ; en cas d'évolution terrestre, autres mammifères bocagers et forestiers.

Intérêt entomologique* : nombreuses espèces d'hétéroptères* et coleoptères* aquatiques, larves et imagos* d'odonates* et d'éphéméroptères*, etc...En milieu atterri, insectes des milieux prairiaux et forestiers.

Contraintes liées aux usages éventuels

Les zones de dépôts de boues peuvent être orientées vers un usage agricole. On devra alors respecter les normes en vigueur (réaliser des analyses de sol - métaux lourds). D'autre part, le matériau issu de tels bassins est toujours très pauvre en nutriments*. Il faudra donc, soit l'enrichir artificiellement en le mélangeant à d'autres types de sols (boues de stations d'épuration, composts d'ordures ménagères, voire terre végétale si elle est en excès), soit l'amender (de préférence les deux solutions conjointement). Il peut être nécessaire de relever le pH (cas de roches très acides ou riches en sulfates).

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- Le phasage et la redistribution des boues de lavage et de criblage sont à déterminer dès l'ouverture de l'exploitation (dossier d'impact et d'incidences). On notera qu'il est sérieusement déconseillé d'utiliser à cet effet des zones humides ou inondables déjà existantes (cela peut même être interdit dans le cadre de Plan de Prévention de Risque), sauf à établir des mesures compensatoires.
- la plantation des bassins, si elle est retenue, peut commencer dès qu'une partie du bassin n'est plus opératoire (comblement) et que les boues sont suffisamment stables pour supporter des dispositifs simples (palettes et planches de bois) permettant leur accès.
- l'apparition spontanée de zones humides n'est pas nécessairement prévisible dans ses détails (localisation...). Une période de séchage des boues, phase de latence et d'observation, sera mise à profit pour déterminer les zones où la végétation est en expansion, et les exclure si possible de tout réaménagement ultérieur.
- le maintien en eau du bassin est nécessaire en cas d'option "zone humide". On assurera l'alimentation en eau durant la durée de l'exploitation. En fin d'exploitation, la mise en place d'un "déversoir" permettant le stockage d'une tranche d'eau hivernale sera préconisé.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

gestion du bassin de décantation

réalise-t-on un inventaire de l'intérêt floristique et phytosociologique du bassin avant qu'il soit comblé ?

envisage-t-on de limiter ce comblement pour qu'il subsiste une zone en eau, quitte à en créer une autre ?

projet de remblai

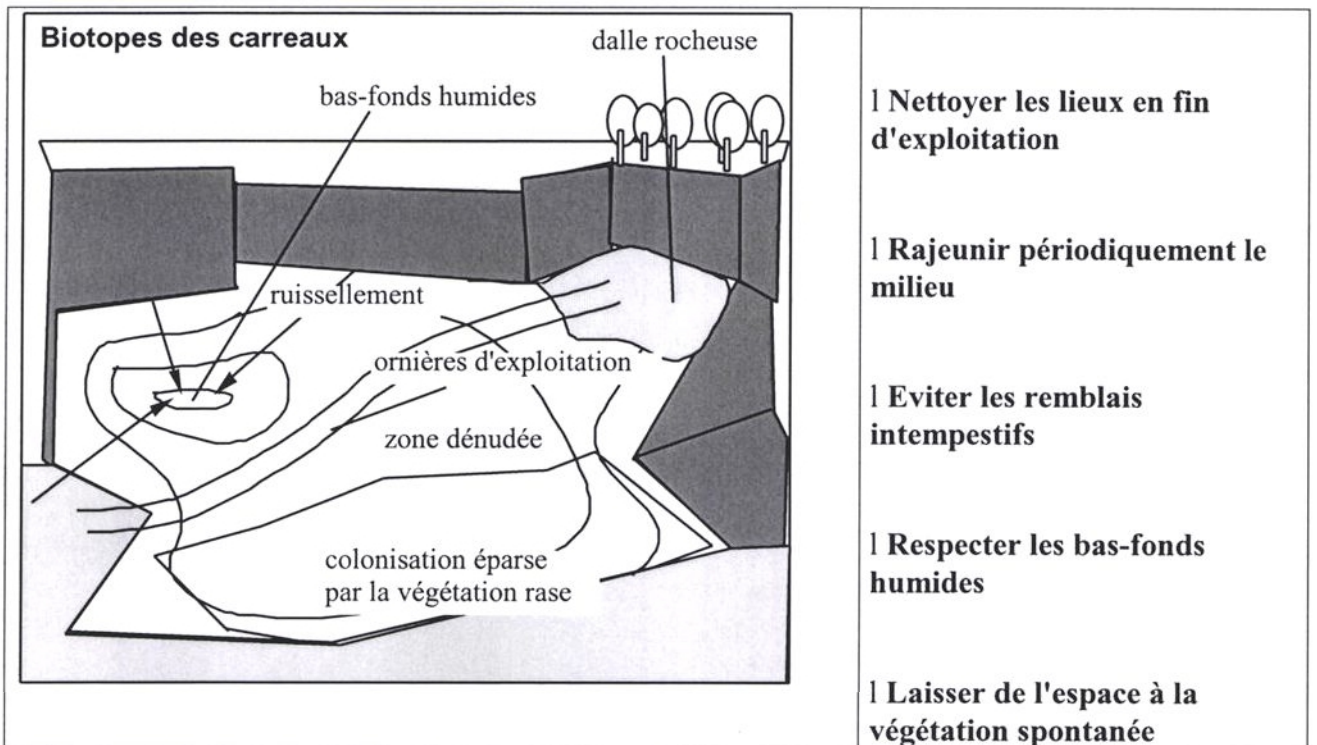
compte tenu des autres parties du site, les matériaux ne peuvent-ils pas être mieux utilisés ailleurs ?

projet de plantation

quels critères président au choix des espèces ?

une partie du bassin peut-il, par un aménagement simple, être laissé en eau ?

CARREAUX



Principes d'aménagement

Nettoyer les lieux en fin d'exploitation : il va de soi que toutes les structures et installations liées à l'exploitation n'ont plus de sens une fois celle-ci terminée, et constituent alors des éléments incongrus dans un espace en cours de réhabilitation. Il en est de même de tous les dépôts et objets étrangers au site (enrobés, pneus, câbles, moellons taillés, planches, outils, etc...). Ces précautions sont valables même en cas de remise en eau par remontée de nappe (qualité des eaux).

Rajeunir périodiquement le milieu : remaniés et perturbés, les espaces de terre nue, de substrat rocaillieux plus ou moins humide en hiver (et sec en été) sont progressivement envahis dans les zones délaissées par une végétation le plus souvent banale, herbacée ou ligneuse. La "fermeture" du paysage, si elle se généralise sur ces emplacements, contrarie l'originalité du milieu pour la faune et la flore. Un passage de scraper permet en quelques minutes de recréer sur de petites surfaces des biotopes "vierges". De même, décapier les dalles rocheuses recouvertes d'une couche de fines, permet de constituer un milieu xérique et contraignant, favorable à des espèces particulières, souvent peu répandues.

Limiter les remblais intempestifs : la gestion quotidienne des carrières implique des modifications dans les emplacements de matériaux (stériles, terres de découverte, remblais de toutes nature). Dans le cadre de l'exploitation, les milieux qui s'y développent risquent de disparaître avec le remaniement et le remblaiement des surfaces subhorizontales obtenues, parfois temporairement. Il s'agit aussi souvent d'espaces de manœuvres par les engins. Il est souhaitable de préserver des surfaces définitivement soustraites à toute activité jusqu'à la fin de l'extraction, en particulier s'il s'agit de zones en eau ou de dalles rocheuses.

Respecter les bas-fonds humides : il s'agit des milieux de prédilection pour nombre d'espèces animales et végétales. On évitera de les "assainir" (fossés de drainage) quand ce n'est pas indispensable pour l'exploitant, ou de les remblayer, même en fin d'utilisation du site.

Laisser de l'espace à la végétation spontanée qui va progressivement s'introduire : friches herbacées, lichens et bryophytes*, ligneux (saules, prunelliers, aubépines, ajoncs, genêts, etc...). Leur faible attrait paysager (effet de "désordre", aspect "sale"), amène parfois à ne pas les respecter comme tels dans un phasage d'exploitation, et à envisager leur disparition à terme (remblai, création de rampes d'accès, de lieux de dépôts de stériles...). Il est important que dans toute carrière, quelques espaces soient laissés à la spontanéité de la nature. On choisira de préférence des lieux éloignés des accès principaux et des lieux "vitrine" pour les visiteurs.

Une réhabilitation paysagère ultérieure (en fin d'exploitation) pourra être envisagée à peu de frais, simplement en complétant les boisements spontanés par des plantations judicieusement localisées, sans altérer notablement le couvert végétal déjà en place. Néanmoins, ces plantations devront être précédées d'un ameublissement du sol, et au besoin de l'apport de terre arable (60 cm ou plus).

Intérêts écologiques

Végétation

Habitats pionniers : végétation de falaises et dalles rocheuses, replats humifères*, groupements bryophytiques*- funaire (*Funaria*), *Ceratodon*, polytric (*Polytrichum piliferum*)..., végétation de zones humide (voir fiche "Zones humides et trous d'eau").

orpins (*Sedum* sp.), hélianthème à gouttes (*Tuberaria guttata*) sur dalles rocheuses, matricaires (*Matricaria* sp.) en zones tassées, diverses herbacées - bouillon blanc (*Verbascum thapsus*), bouillon jaune (*Verbascum nigrum*), reseda (*Reseda lutea*), millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*), épilobe en épis (*Epilobium angustifolium*)...et, surtout sur calcaire succise des prés (*Succisa pratensis*), serpollet (*Thymus serpyllum*), knautie des champs (*Knautia arvensis*), tussilage (*Tussilago farfara*)..., groupements d'exondation temporaire d'ornières et accumulats de sables des zones colmatées, à jonc bulbeux (*Juncus bulbosus*), radiole faux-lin (*Radiola linoides*), cicendie filiforme (*Cicendia filiformis*).

Espèces thermophiles* : cf. petite coronille (*Coronilla minima*), nombreuses orchidées...et fourrés : sorbier à larges feuilles (*Sorbus latifolia*). Mais il s'agit de zones "non perturbées" où plusieurs années s'écoulent sans remaniement.

Faune

Fortes potentialités entomologiques* : espèces xérophiles* et thermophiles* comme le Criquet à ailes bleues, des carabes, des cicindèles, des guêpes, des abeilles terricoles, etc...

Faciès sablo-graveleux favorables à la nidification du Petit gravelot, du Cochevis huppé, de l'Edicnème criard, de l'Alouette lulu (avec végétation herbacée maigre) ; favorables à des oiseaux comme l'Alouette hausse-col, l'Alouette calandrelle, le Pipit rousseline, le Pluvier guignard, etc...

Dans les dépressions, possibilités de reproduction d'amphibiens (si l'assec n'est pas trop précoce).

Contraintes liées aux usages éventuels

Le carreau est le plus souvent délaissé (simplement traversé par les "visiteurs") si la carrière désaffectée est ouverte au public.

Dans le cas contraire, la tendance est de le recouvrir des terres de découverte* pour remise en état à vocation agricole : il n'y a aucune compatibilité entre cette pratique et la préservation des milieux originaux décrits ci-dessus, par conséquent le choix doit être fait dès que possible après mise en exploitation du site.

Il est parfois possible, dans les sites étendus, de juxtaposer les deux usages en préservant des zones de recolonisation naturelle, éventuellement avec "appui" paysager en finition. Le plan de réaménagement doit alors clairement faire ressortir ces deux objectifs et leur délimitation spatiale. Celle-ci prendra en compte la nature finale des carreaux, en réservant la partie "naturelle" aux secteurs les plus originaux (dalles rocheuses, bas-fonds humides) appelés à être générés par l'exploitation, et en prévoyant des espaces "pâturés" sur les friches et pelouses rases spontanées.

Enfin, dans les carrières profondes, les carreaux sont le plus souvent inondés après arrêt de l'exploitation, ce qui élimine *de facto* toutes les caractéristiques décrites ici. L'usage des lieux est alors à envisager dans le contexte des grands plans d'eau (voir fiche).

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- définir les espaces appelés à rester en l'état après extraction (pas de remaniement lors des phases ultérieures) et les réserver en priorité à la colonisation spontanée ;
- prévoir des dispositions d'intégration visuelle en périphérie de ces espaces "libérés" (plantations à caractère ornemental, pelouses...) assurant une transition avec les espaces utilitaires ;
- prévoir les espaces appelés à rester en eau après extraction et délimiter ceux qu'il sera possible d'exclure ainsi des zones remblayées ;
- planter le cas échéant dès la libération des espaces délaissés des bandes de ligneux d'intérêt écologique (producteurs de baies, mellifères*...) pour "masquer" les friches (groseillers sauvages, sorbiers, troènes communs, cornouillers, aubépines, cognassiers du japon, poiriers sauvages, noisetiers, pruniers mahaleb, sureau...);
- se renseigner auprès des exploitants agricoles du voisinage pour l'éventualité d'usage du site en pâture après reverdissement (en substitution aux cultures, ce qui limitera les perturbations des zones semi-naturelles reconstituées).

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de laisser le fond de fouille se remplir en fin d'exploitation

cet abandon est-il gérable, par exemple peut-on envisager de limiter la remontée du niveau, et comment ?

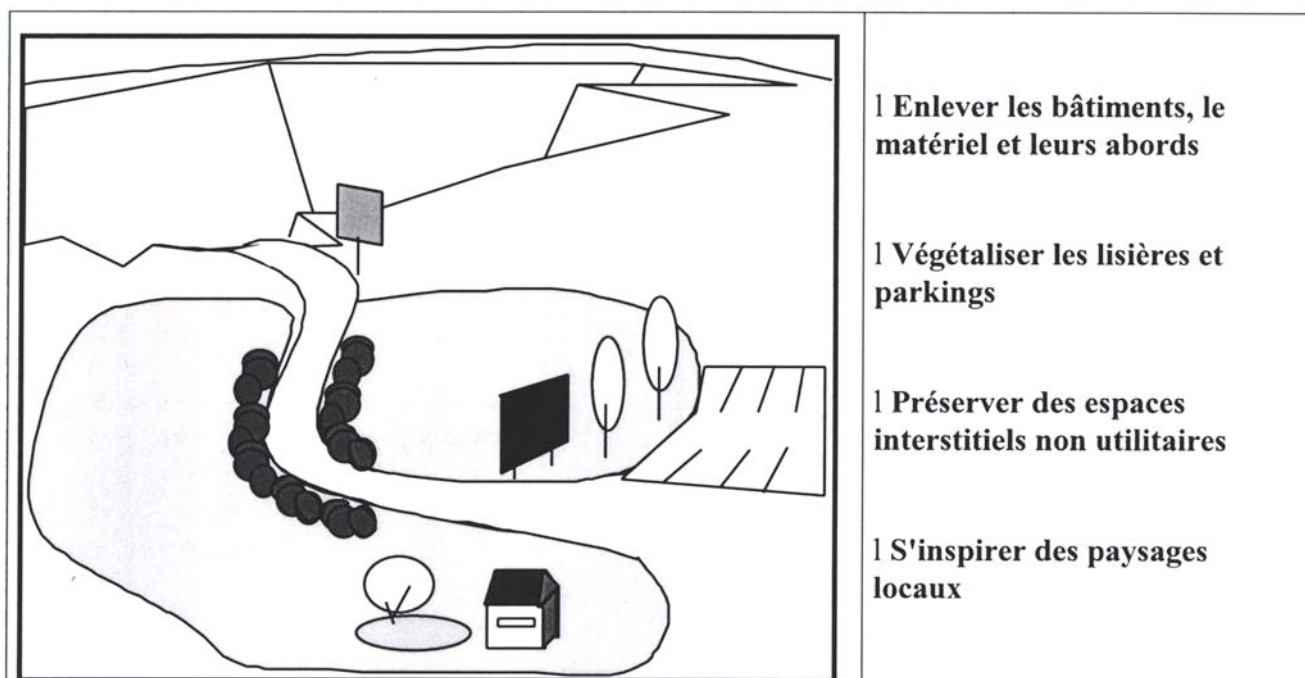
projet de remblayer pour mise à niveau

le remblai devra-t-il faire disparaître des milieux qui, entre temps, seront devenus d'intérêt écologique ?

projet de plantation

est-ce la seule manière de restaurer un paysage et un milieu intéressants ?
quelle part laisse-t-on à la nature spontanée et aux espèces héliophiles ?*

ENTREE DE SITE ET INSTALLATIONS



Principes d'aménagement

Enlever les bâtiments et le matériel, et soigner leurs abords : libérer l'emprise pour rétablir un aspect "initial" au site. En fait, il s'agit de laisser derrière soi un paysage abordable sur le plan visuel, non d'essayer à tout prix de reconstituer "ce qu'il y avait avant". Si le site est utilisé après exploitation pour des accès d'engins, on aura avantage, dès la phase d'exploitation de la carrière, à assurer une voie d'accès goudronnée, ce qui limite les dégagements de poussières, l'érosion, le rechargement périodique.

Végétaliser les lisières et parkings : à l'exception d'emplacements pour les visiteurs si la carrière est destinée à une fréquentation régulière, ces zones seront remises en état par enlèvement des stabilisés (goudrons, graviers, etc...) et dépôt d'une couche de terre arable, puis végétalisées (voir ci-après).

Préserver des espaces interstitiels : éviter de tout transformer en espaces verts, car il peut subsister des espaces interstitiels sauvages d'un intérêt tout aussi grand qu'une pelouse. Outre l'économie de remise en état, leur préservation assurera une source de reconquête à la flore (voire à la faune).

S'inspirer des paysages locaux : renaturer sans dénaturer. L'introduction massive de résineux exotiques ou les massifs de cornouillers multicolores sont aussi étrangers au regard de la plupart des riverains et visiteurs de sites de carrières abandonnés, que les fronts de taille. On s'assurera les compétences d'un paysagiste.

Intérêts écologiques

Végétation et faune

Pas de spécificités, étant donné que dans la plupart des cas, il s'agit de milieux très artificiels et très modifiés. Néanmoins, l'usage d'espèces végétales d'origine locale (qu'il sera possible d'identifier par un inventaire préalable, aujourd'hui obligatoire dans le cadre des dossiers d'autorisation) permettra de recréer des micro-milieux parfois investis rapidement par la faune et la flore adaptées : mare décorative, muret, buissons bas ou arbustes à feuillage dense et persistant, ou arbres et arbustes à feuillage caduc, ... En revanche, ces potentialités sont très réduites dans le cas des pelouses de type "urbain", sélectionnées, régulièrement tondues, traitées et amendées.

A ce titre, certaines catégories commerciales de semences en mélange, et l'intérêt de préserver des microzones non fauchées où la nature "sauvage" peut s'exprimer, seront judicieusement mises à profit. Lors de la restitution du site, ces espaces serviront de "sources" de recolonisation. Une fois libérés, les bâtiments enlevés, les parties artificielles, souvent ingrates, gagneront à être recouvertes de terre arable et végétalisées (mélanges herbacés et légumineuses, plantations). Une certaine souplesse dans le choix d'espèces et variétés ne nuit pas au site : rosiers, plantes odoriférantes, plantes à baies, lianes et rosiers grimpants, etc... pourvu qu'il s'agisse d'espèces ou variétés aptes à prospérer sans intervention humaine régulière, et sur des sols peu profonds.

Contraintes liées aux usages éventuels

Durant l'exploitation, il s'agit de parties très utilisées et fréquemment allouées à des stationnements, des passages de véhicules et des dépôts temporaires.

En revanche, en fin d'exploitation, elles ne présentent en général pas d'usages particuliers prédéterminés.

Mise en œuvre anticipée des principes d'aménagement

Optimiser la mise en œuvre de ces dispositions dès l'établissement du phasage d'exploitation du site :

- réaliser un plan paysager d'entrée de site, qui est aussi la "vitrine" de la carrière ;
- intégrer à ce plan des zones "sauvages" en perspective, derrière ou en interstices des parties ornementales ;
- assurer le maintien ou la création de "lisières" (haies basses ou boisées, talus, massifs de buissons, bosquets) qui joueront un rôle d'écran (pour l'intérieur) et d'écran (pour l'extérieur) et amélioreront la continuité visuelle avec le paysage environnant.

Quelques bonnes questions à se poser à l'occasion

projet de réhabiliter l'entrée de site

comment a-t-on prévu de gérer la transition visuelle d'un espace périphérique agricole ou naturel vers un espace réaménagé ?

les espaces minéraux subsistants sont-ils utilisables selon la vocation ultime du site ?

toutes les structures inesthétiques pourront-elles être évacuées ?

quelle information utile prévoit-on de mettre en place si le site est ouvert au public ?

dans le cas contraire, prévoit-on d'informer des restrictions d'accès et de les justifier ?

l'entrée de site est-elle clairement identifiable ? sinon y-a-t-il des risques de fréquentation anarchique et comment l'éviter ?

la carrière une fois abandonnée restera-t-elle visible de loin ? comment peut-on atténuer son impact à distance dans le paysage ? (notons que cette question est à considérer dès le phasage de l'exploitation et lors de la délimitation des zones d'excavation).

INTERVENTIONS D'HABILLAGE PAYSAGER

Les préconisations données ici ne seraient pas complètes sans orienter les interventions plus classiques, usuellement mises en œuvre dans les remises en état de carrières. Il s'agit essentiellement d'interventions paysagères. Celles-ci obtiendront d'autant mieux leurs objectifs (visuels et dynamiques) qu'elles suivront certaines précautions et respecteront certaines règles que nous précisons ci-après.

Les *observations de terrain en Basse-Normandie* ont permis de recenser un certain nombre d'espèces végétales en fonction du type de milieu :

Zones humides : saules (*Salix acuminata*, *Salix aurita*, *Salix cinerea*, *Salix caprea*), bouleau (*Betula alba*), frênes (*Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*), aulne (*Alnus glutinosa*), peuplier tremble (*Populus tremula*).

Landes : ajonc d'Europe (*Ulex europaeus*), genêt (*Cytisus scoparius*), en accompagnement de bruyère cendrée ou ciliée (*Erica cinerea*, *Erica ciliaris*) et de callune (*Calluna vulgaris*).

Eboulis : arbre à papillons (*Buddleya davidii*), sureau noir (*Sambucus nigra*), prunellier (*Prunus spinosa*).

En fonction du type de substrat, on rencontre des associations spécifiques qui peuvent se décliner comme suit :

Carrières calcicoles :

érable champêtre (*Acer campestre*), aulne (*Alnus glutinosa*), bouleau (*Betula pendula*), charme (*Carpinus betulus*), érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), clématite (*Clematis vitalba*), cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), noisetier (*Corylus avellana*), aubépine (*Crataegus monogyna*), hêtre (*Fagus sylvatica*), frêne (*Fraxinus excelsior*), houx (*Ilex aquifolium*), troëne commun (*Ligustrum vulgare*), chêne pédonculé (*Quercus robur*), saule cendré (*Salix cinerea*), tilleul (*Tilia platyphyllos*), orme (*Ulmus minor*).

Carrières acidiphiles :

érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), bouleau (*Betula alba*), noisetier (*Corylus avellana*), aubépine (*Crataegus monogyna*), genêt (*Cytisus scoparius*), épiceau (*Picea sitchensis*), frêne (*Fraxinus excelsior*), mélèze (*Larix decidua*)... pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), prunellier (*Prunus spinosa*), chêne pédonculé (*Quercus robur*), saules (*Salix acuminata*), (*Salix caprea*), sureau noir (*Sambucus nigra*), ajonc d'Europe (*Ulex europaeus*).

En terme de recommandations concernant la revégétalisation des sites indépendamment du fait que l'on puisse utiliser l'ensemble des espèces indiquées précédemment, il est intéressant d'envisager la mise en place d'autres espèces rencontrées chez les pépiniéristes locaux.

Arbres :

châtaignier (*Castanea sativa*), genévrier (*Juniperus communis*), pin cembro (*Pinus cembra*), pin maritime (*Pinus pinaster*), pin pignon (*Pinus pinea*), merisier (*Prunus avium*), chêne des marais (*Quercus palustris*), sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia*).

Arbustes :

abelia (*Abelia grandiflora*), épine-vinettes (*Berberis stenophylla*, *Berberis thunbergii*), oranger du mexique (*Choisya ternata*), cistes (*Cistus sp.*), cornouillers (*Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Cornus stolonifera*), cotoneasters (*Cotoneaster franchetii*, *Cotoneaster lacteus*), oliviers de bohème (*Eleagnus ebbingei*, *Eleagnus angustifolia*), escallonia (*Escallonia macranta*), forsythia (*Forsythia fortunei*), chèvrefeuilles (*Lonicera sp.*), buissons ardents (*Pyracantha angustifolia* et *fortunei*), rosiers (*Rosa rugosa* et *pimpinellifolia*, *Rosa sp.pl.*²), spirées (*Spiraea arguta*, *Spiraea van Houttei*), tamaris (*Tamarix pentandra*), viornes (*Viburnum carlcephalum*, *Viburnum*

²Voir propositions jointes de variétés en fin de chapitre.

carlesii, *Viburnum lantana*, *Viburnum opulus*), *laurier-tin* (*Viburnum tinus*), *weigelia* (*Weigelia florida*).

Le tableau en fin de chapitre précise l'intérêt de ces diverses propositions.

A quelques exceptions près, ces essences gagnent souvent à être plantées en groupe de façon à donner un effet de masse. La mise en place localement de variétés à fleurs, à fruits, à floraison printanière ou estivale, à fruits variés, augmente la richesse tant écologique que paysagère et favorise l'installation d'une faune qui pourra trouver gîte et couvert sur le même milieu.

Concernant l'**entrée de site**, on peut envisager des plantations qui **seront à la fois ornementales, assurant un accueil et un agrément pendant la période d'activité de la carrière, et qui cependant, de par leur caractère rustique, présenteront à terme une végétation "adulte" adaptée au site et s'intégrant bien dans l'environnement pour réaliser une transition avec un état des lieux plus "sauvage"**. On évitera en revanche toutes les espèces et variétés qui demandent de l'entretien trop régulier, un sol fertile, ou résisteraient mal à un environnement perturbé (poussières, ...) ou à la concurrence des herbacées et des espèces naturelles du lieu. Nous ne recommandons pas non plus dans ces entrées de site une prolifération d'essences trop étrangères au site (beaucoup de conifères exotiques et d'arbustes à feuillage persistant), inappropriées, de par leur allure et leur couleur, à un contexte en général assez "local" et traité de manière à s'intégrer à l'environnement.

Des exceptions peuvent se justifier : nécessité d'une haie dense imperméable au regard, possibilité de laisser se développer un arbre de haut jet ornemental, très contrasté, comme repère visuel significatif marquant la carrière aux visiteurs. Mais on utilisera ce type de plantation avec parcimonie (le spectaculaire n'est pas toujours de bon aloi). Soulignons également que les "barrages verts" de résineux sont rarement bien intégrés au paysage environnant et confèrent au site un aspect "périurbain".

Persistants :

abelia (*Abelia*), *Cotoneaster* (*Cotoneaster horizontalis*, *Cotoneaster franchetti*), *céanothe* (*Ceanothus thyrsiflorus*), *oranger du mexique* (*Choisya ternata*), *olivier de bohème* (*Eleagnus angustifolia*, *Eleagnus multiflora*), *bruyère en arbre* (*Erica arborea*), *escallonia* (*Escallonia sp.*), *véronique* (*Hebe sp. var.*), *troëne du japon* (*Ligustrum japonicum*), *olearia* (*Olearia macrodonta*), *photinia* (*Photinia frasei*), *buisson ardent* (*Pyracantha*), *romarin* (*Rosmarinus sp. var.*), *tamaris* (*Tamarix sp.*).

Colorés (inflorescences et/ou feuillage) :

Rose : *Abelia*, *Erica*, *Lavatera*, *Spiraea*, *Syringa*, *Tamarix*, ...

Rouge : *Cotinus*, *Ribes*, *Syringa*, *Weigelia*...

Jaune, orange : *Berberis*, *Cornus*, *Eleagnus*, *Forsythia*, *Genista*, *Keria*, *Potentilla*, *Senecio*, *Ulex*...

Blanc : *Choisya*, *Cotoneaster*, *Hydrangea*, *Ligustrum*, *Olearia*, *Pyracantha*, *Spiraea*, *Viburnum*...

Bleu : *Buddleya*, *Caryopteris*, *Ceanothus*, *Hebe*.

L'intervention de quelques pépiniéristes locaux est préférable car ils fournissent des espèces déjà acclimatées aux conditions locales - climat et sols ; la liste jointe n'est pas exhaustive mais permet une première approche pour d'éventuels contacts concernant ces plantations.

Cas des rosiers : traditionnellement utilisées pour des espaces décoratifs, ou des massifs de fleurs en parcs paysagers, peu de variétés de rosiers sont suffisamment rustiques et bien intégrées à un environnement naturel pour être préconisées dans les carrières réaménagées. Toutefois, pour le secteur d'entrée de site, il peut être retenu quelques rosiers vigoureux et florifères, d'allure naturelle, dans les rosiers anciens ou les rosiers "lianes" (grimpants de grand développement), voire dans des variétés récentes résistantes à la sécheresse et aux parasites.

Les rosiers lianes en particulier, créant des touffes vigoureuses ou partant librement à l'assaut de vieux arbres, induisent une originalité sans contraster avec l'allure plus naturelle du site. A utiliser en plants isolés ou disséminés, y compris à proximité des grands arbres. De plus, ils ne présentent pas de risques de prolifération.

Quelques principes pour la rédaction d'un cahier des charges

Sélectionner les espèces et variétés adaptées au sol et au climat. Pour les taxons* sauvages, ne pas retenir sauf exception ceux qui seraient étrangers à la région. Pour les taxons* horticoles, privilégier ceux qui présentent un intérêt biologique, et non pas préférentiellement ni exclusivement les décoratifs : préférer ceux qui présentent un intérêt entomologique ou ornithologique, une valeur mellifère, un rôle dans la fixation d'azote, qui sont des générateurs d'humus doux, à litière facilement décomposable, ceux qui ont un entrelac racinaire puissant stabilisant les pentes (si c'est l'objectif). De manière générale, éviter les résineux et se limiter à une faible proportion de persistants. Plusieurs feuillages persistants sont disponibles dans notre flore spontanée : houx, if, genévrier, buis, fragon. Des espèces sont devenues subspontanées* et seront utilisées ponctuellement à titre de complément : laurier palme, laurier du portugal, favorables à la nidification et à l'alimentation d'oiseaux forestiers.

Eviter les densités excessives : 2 à 3 plants pour 10 m² suffisent en général pour amorcer une reconquête, la nature complètera.

Ecarter les cas excessivement envahissants : en particulier, éviter à tous prix les ronces exotiques, les millepertuis étouffants, les ailanthes et autres "pestes végétales" qui dénaturent la réhabilitation des milieux et risquent d'écarter des espèces sauvages ou locales plus utiles à la faune et plus représentatives de notre flore. Pour la même raison, se méfier d'excès d'introductions en milieux aquatique et y proscrire totalement les exotiques ou les plantes d'aquarium (myriophylle du brésil, jussie, jacinthe d'eau, élodée, etc...). Les héliophytes* seront judicieusement choisis en fonction de la profondeur, et ne seront retenus que si l'étendue du plan d'eau le permet (éviter les massettes - Typha sp.- en petites zones humides).

L'engazonnement sera réservé aux zones instables qu'on souhaite fixer, aux entrées de site plus décoratives, à titre d'appoint.

On utilisera un mélange rustique, adapté aux conditions : pour sols secs ou pour sols humides, par exemple.

Dans les zones pionnières on évitera complètement l'engazonnement, pour laisser aux végétaux spontanés la possibilité de constituer progressivement une composition végétale naturelle, avec les phénomènes de succession.

Lors des opérations d'entretien, on ne nettoie que les zones présélectionnées, en évitant l'éradication systématique des arbustes et des ligneux bas (fragon, ajonc, troëne, ...) ou des lianes (chèvrefeuille, clématite, houblon, ...).

LEXIQUE

acidophile: qui préfère les sols acides.

adventice: terme scientifique synonyme de "mauvaise herbe".

altérite: roche meuble formée par altération d'une roche massive.

anémochore: disséminé par le vent.

anthropique: d'origine humaine.

anthropisé : ayant été transformé par l'action de l'homme.

arachnide: classe du sous-embranchement des chélicérates, et de l'embranchement des arthropodes, regroupant les araignées, les scorpions, et quelques groupes apparentés...

ardéidé: famille de l'ordre des ciconiiformes et de la classe des oiseaux, regroupant les hérons, aigrettes, etc...

baccivore: consommateur de baies.

batrachologique: relatif aux amphibiens et à leur étude.

biodiversité: en écologie, la diversité biologique est proportionnelle au nombre de taxons (espèces, sous-espèces, variétés...) et à leur homogénéité de répartition (contraire de la dominance).

biotope : milieu - avec des éléments non biologiques - où se développent des espèces vivantes.

bryolichénique: relatif aux mousses (bryophytes) et lichens

bryophyte: branche du règne végétal rassemblant essentiellement les mousses

chaîne alimentaire : ensemble local constitué des êtres vivants en relation de proie à prédateur et de ces relations elles-mêmes, dans un milieu donné (en général, il y en a plusieurs reliées en réseau).

calcicole: qui préfère ou recherche exclusivement les sols calcaires.

chasmophyte: qui croît dans les fissures (pour une plante).

chiroptérologique: relatif aux chauves-souris et à leur étude.

climax : stade final (potentiel ou réalisé) d'une succession* écologique.

coléoptère: ordre d'insectes regroupant des dizaines de milliers d'espèces dans le monde, souvent prédateurs, parfois consommateurs de bois ou de feuilles, terrestres ou aquatiques, dont cicindelles, carabes, dytiques, gyrins, scarabées, hannetons, coccinelles...

columbidé: famille de l'ordre des columbiformes, et de la classe des oiseaux, regroupant les pigeons et les tourterelles.

corridors: en écologie du paysage, caractérise les éléments quasi-linéaires du paysage qui joignent deux milieux occupés par des espèces communes ; ils permettent les échanges de populations et les déplacements alimentaires ou reproducteurs.

cycle phénologique : différentes étapes par lesquels passe une espèce au cours de sa vie, de la naissance à la mort.

cynégétique: relatif à l'art de la chasse, et par extension, à la chasse en général.

déficit en eau: caractérise l'état d'un sol dont le bilan précipitations - (évaporation+infiltration), à une période donnée de l'année, est négatif.

détritivore: consommateur de débris végétaux ou animaux.

écosystème: ensemble constitué du biotope et de la biocœnose (biocœnose : ensemble d'êtres vivants partageant les mêmes conditions de vie et souvent reliés par des interactions biologiques) - un écosystème possède des propriétés et une dynamique qui lui sont propres, comme un méga-organisme vivant.

écotone : transition entre deux écosystèmes (écosystème : voir ci-dessus).

écotype : une des variations de caractères d'un taxon*, génétiquement fixée, caractérisant une station ou une aire géographique déterminée.

entomologique: relatif aux insectes et à leur étude.

éphéméroptère: ordre d'insectes regroupant plus de 2500 espèces dont environ 200 en Europe, à larves aquatiques et adultes liés aux milieux humides.

espaces intersticiels: caractérise des espaces mal définis, n'appartenant à aucune catégorie clairement identifiée, en général de faible étendue, situés entre des zones dont la destination est claire, mais abritant néanmoins des espèces végétales et animales : cas des friches situées entre des bâtiments, par exemple.

espèces compétitives: espèces dotées d'un grand pouvoir de dominance sur la majorité des autres en termes de croissance et de développement (extension spatiale).

eutrophisation: caractérise un processus dérivé de la dynamique naturelle, mais renforcé artificiellement par un excès de nutriments (azote, phosphore) , au cours duquel le milieu concerné s'enrichit en matière organique jusqu'à s'auto-empoisonner.

exhaure: induit par le pompage (eau).

fouisseur: se dit d'un organisme qui creuse le sol, la vase ou tout autre substrat meuble, afin de s'y abriter, d'y circuler, ou d'y trouver sa nourriture.

fraye, frayère: activité de reproduction et lieu de reproduction des poissons et des amphibiens.

frugivore: consommateur de fruits.

gagnage: lieu d'alimentation de la faune, le plus souvent utilisé de nuit.

gastéropode: classe de mollusques regroupant les escargots, les limnées, les limaces, les patelles, etc...

héliophile: qui préfère les milieux ensoleillés ou bien éclairés.

hélophyte: plante de vase.

herbier: se dit des peuplements végétaux aquatiques, surtout ceux composés de plantes immergées.

herpétologique: relatif aux reptiles et à leur étude.

hétéroptère: sous-ordre de l'ordre des hémiptères et de la classe des insectes, regroupant les punaises, aquatiques et terrestres.

humifère: qui recherche et préfère les sols riches en humus.

hydromorphe: se dit d'un sol (ou de sa couverture végétale) constitué dans un environnement souvent ou périodiquement saturé d'eau.

hyménoptère: ordre d'insectes regroupant les abeilles, guêpes, bourdons, fourmis...

ichtyologique: relatif aux poissons et à leur étude.

imago: synonyme d'insecte adulte.

lithofaciès: caractérise pour une roche déterminée, l'apparence locale liée à des conditions particulières de dépôt ou de déformation.

mammalogique: relatif aux mammifères et à leur étude.

marnage: variation de niveau de l'eau (en général, phénomène intersaisonnier, mais parfois, artificiellement plus fréquent).

mégaphorbiaie : prairie constituée d'herbes hautes, en général sur sol humide.

mellifère: qui produit du nectar (utilisé pour faire le miel par les abeilles) ; par extension, se dit de toute plante à fleur qui attire les abeilles ou d'autres insectes (papillons...).

merlon: masse constituée de terre ou autres matériaux, de profil le plus souvent triangulaire ou trapézoïdal, édifiée dans un but de protection (visuelle ou auditive).

mésophile: préférence d'une espèce ou d'une unité végétale, intermédiaire entre le sec et l'humide (par extension, caractérise un milieu intermédiaire entre sec et humide).

micromammifère: groupe de mammifères de petite taille (musaraignes, campagnols, mulots, etc...).

monospécifique: composé d'une seule espèce.

morphotype: forme particulière d'un taxon*, génétiquement fixé, en général lié à une aire géographique très précise.

mustélidé: famille de l'ordre des carnivores, et de la classe des mammifères, regroupant le putois, la belette, la fouine, le blaireau, la loutre, etc...

mycorrhizes : organes engendrés par l'infection des racines de la plante par une bactérie symbiotique; dans ces organes les bactéries apportent à la plante des éléments nutritifs.

nodosité: déformation des tissus d'une racine sous l'effet d'une bactérie qui infecte la plante mais en échange, lui apporte des éléments nutritifs (c'est un exemple de symbiose). Voir aussi ci-dessus : mycorrhize.

nutriment: élément chimique susceptible de nourrir (en général, utilisé par la végétation ou par les microorganismes).

odonate: ordre d'insectes regroupant les libellules et les agrions ou demoiselles.

oiseaux d'eau: tous les oiseaux inféodés aux milieux aquatiques ou subaquatiques (canards, échassiers, goélands et mouettes, râles, passereaux des marais, etc...).

ornithologique: relatif aux oiseaux et à leur étude.

paléontologique: qui se rapporte à l'histoire de la vie au cours des temps géologiques.

palustre: lié aux marais (par extension, aux zones humides).

phase terrestre, phase aquatique (des batraciens) : parties du cycle biologique des batraciens les amenant chaque année, pour la plupart d'entre eux, à rejoindre des milieux aquatiques pour leur reproduction et leur développement larvaire puis à s'émanciper de ces milieux pour réintégrer les milieux terrestres où ils estivent et hibernent.

phénologique : lié aux phases de développement du végétal (levée, croissance végétative, montaison, floraison, fructification, sénescence...).

piézométrique: relatif aux niveaux d'eau dans le sol ou le sous-sol.

prédation: capture d'une espèce animale par une autre à des fins alimentaires.

préemption de niche: processus qui découle de la capacité d'une espèce végétale (ou animale) à occuper rapidement un espace avec les relations privilégiées au milieu et aux autres espèces que cela implique ; de ce fait, la quasi-totalité des autres espèces ne peuvent plus bénéficier de la même situation.

productivité: en écologie, égale à la quantité de matière vivante produite par unité de temps ; par extension, capacité de produire cette matière vivante.

pseudoclimax: en écologie, terme utilisé pour désigner l'état final d'une succession* qui ne correspond pas au "climax", c'est à dire à l'état final théorique sous un climat donné, à cause de contraintes locales. Ce terme tend à être abandonné, quoique restant bien pratique.

régilage: consiste à étaler les matériaux de manière relativement régulière sur un espace donné.

remise: endroit où des animaux se reposent (diurne: de jour, nocturne: de nuit).

reposoir: milieu utilisé par les oiseaux pour leurs activités de confort (repos, toilette...) ; il s'agit en général de bancs de sable, d'îlots, de boisements...

régressive: caractérise une succession* orientée vers le remplacement des stades évolués par des stades plus primitifs, voire même des stades pionniers (sur substrat nu).

roselière: formation végétale caractérisée par le roseau (*Phragmites australis*). Par extension, on utilise ce terme pour désigner un certain nombre d'unités végétales composées d'espèces palustres.

rupicole: caractéristique de paroi (et qui y vit préférentiellement au moins pendant une partie de son cycle biologique).

saxicole: qui se développe préférentiellement ou exclusivement sur les roches.

source (de recolonisation): point d'origine pour la dissémination d'une espèce.

succession: processus spontané de remplacement successif des espèces sous l'effet des influences physico-chimiques ou biologiques, au cours du temps, dans un milieu donné.

stolon : organe de propagation rampant sur le sol (d'une espèce végétale)

taxon: unité génétique (genre, espèce, sous-espèce, variété, etc...).

terre de découverte: terre séparée et stockée à part pour découvrir les roches exploitables d'un gisement. A ne pas confondre avec la terre végétale, la terre de découverte comprend des horizons profonds inorganiques et des arénites superficielles. En principe, la terre végétale a déjà été décapée précédemment.

terricole: qui préfère ou recherche exclusivement la terre pour se développer.

thermocline: en descendant le long d'un profil vertical dans un plan d'eau, zone où la température et l'oxygénation chutent rapidement (ce qui entraîne d'autres variations chimiques). Cette couche n'apparaît que dans les plans d'eau profonds.

thermophile: qui aime la chaleur.

transit migratoire : escale effectuée par les oiseaux migrateurs lors de leurs déplacements post- et pré-nuptiaux.

trophique: synonyme d'alimentaire (utilisé de préférence, en biologie).

turbidité: état de ce qui est turbide (riche en microparticules qui rendent le liquide **opaque** : cas des rivières ou des plans d'eau très chargés en matières en suspension).

valeur biologique: valeur que la science attribue à telle ou telle partie d'un écosystème, (en général un espace déterminé) du fait de sa rareté ou de son rôle dans la nature.

vire : rebord de falaise ou petites banquette

xérophile: qui supporte ou préfère la sécheresse.

xylophage: consommateur de bois.

BIBLIOGRAPHIE

- **Réaménagement biologique des carrières après exploitation**
Ministère de la Région Wallonne – Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement – 1995, 79 pages.
- **Les escarpements rocheux**
Entente Nationale pour la Protection de la Nature – Ministère de la Région Wallonne – 1995, 43 pages.
- **Potentialités écologiques des carrières**
Ministère du Redéploiement Industriel et du Commerce Extérieur – Comité de Gestion de la Taxe Parafiscale sur les Granulats – Ministère de l'Environnement – Délégation à la Qualité de la Vie – 28 pages.
- **Restitution des carrières au milieu naturel et création de zones écologiques**
Note d'Information Technique – Ministère de l'Urbanisme et du Logement – Ministère des Transports – 1984, 18 pages.
- **Les carrières, potentiel de création et de reconquête des milieux naturels**
Union Nationale des Producteurs de Granulats – 1980, 40 pages.
- **Remise en état des carrières : principes généraux, recommandations techniques et exemples par type d'exploitation**
Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, BRGM – 1998, 64 pages.
- **Approche phytoécologique de la dynamique des végétations primaires dans les carrières de roches massives.**
Laurent Boulet, thèse de Doctorat d'Université, Université de Rennes I – 1996, 521 pages + annexes.
- **Le paysage dans les projets de carrières : guide méthodologique**
DIREN Midi-Pyrénées – 1997, 68 pages.
- **Les études d'impact de carrières de roches massives**
Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Ministère des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – 1980, 59 pages.
- **Les carrières de roches massives – Aménagements paysagers**
Ministère du Redéploiement Industriel et du Commerce extérieur, Ministère de l'Environnement et Comité de Gestion de la Taxe parafiscale sur les Granulats – 1983, 48 pages.
- **Le réaménagement des carrières**
Ecole Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines d'Alès – 1984.

- **La végétalisation – La végétation, outil d'aménagement**
Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme, SETRA et Ministère de l'Environnement – 1994.
 - **Paysage – Carrière – Environnement**
Union Nationale des producteurs de Granulats – 1994.
 - **La remise en état des carrières de roches massives**
Revue Mines et Carrières – Industrie Minérale – 1996.
 - **L'aménagement et la réhabilitation écologique des carrières sèches**
Association Française des Ingénieurs Ecologues, actes des journées techniques, 7 et 8 octobre 1993 – 1993, 164 pages.
 - **Mécanismes fondamentaux de repeuplement par la faune et la flore des milieux artificiels résultant de l'activité industrielle (carrières, ballastières hors eaux)**
J. C. Robert, J. Y. Cretin, C. Prouteau, Convention M.E.R. n° 79-93, rapport Laboratoire de Biologie et Ecologie Animales, Université de France-Comté, Besançon – 1983, 179 pages.
 - **Carrières et dynamique du vivant : principes et orientations techniques**
Ouest-Aménagement, Direction Régionale de l'Environnement Bretagne – 1998, 17 pages.
 - **Revégétalisation des carrières : principes généraux applicables aux reboisements**
Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Ministère de l'Agriculture, Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les Granulats, Direction des Forêts, C.E.M.A.G.R.E.F. – 1984, 49 pages.
- Cas des carrières en eau :*
- **Une mise en valeur écologique des sablières en eau : l'exemple de Saule-Guillaume**
Laboratoire d'Ecologie, Faculté des Sciences de Dijon – 1984, 31 pages.
 - **Les études d'impact de carrières de matériaux alluvionnaires**
Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Ministère des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – 1982.
 - **Une valorisation écologique et touristique des plans d'eau artificiels**
Ministère de l'Environnement – DNP, Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc – 1995, 58 pages.
 - **Aménagements des sablières en sites de pêche**
Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Industrie, Jeune Chambre Economique de Romilly-sur-Seine – 46 pages.
- et pour partie ce document déjà cité :
- **Les carrières, potentiel de création et de reconquête des milieux naturels**
Union Nationale des Producteurs de Granulats – 1980, 40 pages.

Composition du groupe de travail