

Évolutions dans les pratiques de réaménagement des mines et carrières

Mica Environnement présente son retour d'expérience issu de 20 ans de maîtrise d'œuvre de chantiers de remise en état de mines et carrières en France ainsi que les évolutions récentes des techniques.

Pendant de nombreuses années, les objectifs du réaménagement se sont résumés en trois points essentiels :

- rendre le site dans un état stabilisé à long terme afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens ;
- assurer la salubrité publique en garantissant la qualité des eaux, et en maîtrisant les débits ;
- insérer le site dans son environnement paysager.

Ces objectifs nécessitent des opérations de terrassement, la réalisation d'ouvrages de gestion des eaux et la végétalisation des sites par semis herbacés, dans un souci principal de stabilisation des talus et de lutte contre l'érosion.

Aujourd'hui, le réaménagement vise également et en plus des actions précédentes, à favoriser l'expression de la biodiversité en recherchant diversité et hétérogénéité des milieux restitués.

Le réaménagement : une étape clef de la vie d'une extraction

L'exploitation ne se limite pas à l'extraction. Un site est considéré comme totalement exploité lorsqu'il a été remis en état. Cette étape est une obligation réglementaire et doit permettre d'aboutir à son « abandon », c'est-à-dire sa rétrocession aux autorités compétentes dans de bonnes conditions. Il assure une bonne image de l'exploitant et permet de diminuer les opérations de surveillance ou d'entretien post-exploitation.

La remise en état à l'avancement permet de « cicatrifier » les terrains au fur et à mesure de l'exploitation et de diminuer la surface d'extraction en un instant « t ». Ce type d'opération n'apporte que des avantages : diminution du montant des garanties financières, limitation de l'impact visuel, augmentation de la biodiversité, diminution des poussières et des matières en suspension dans l'eau.

La phase de réaménagement peut être plus coûteuse que nécessaire lorsqu'elle a été mal préparée. Les réaménagements coûteux se retrouvent souvent dans les cas suivants :

- lorsque la remise en état est réalisée en fin d'exploitation et non à l'avancement ;



Mica Environnement - P. Couderc

- lorsque les terrains sont instables, les fronts de grande hauteur, les verses à stériles ou stockages d'inertes construits sans prise en compte de la stabilité ni de la gestion des eaux.

Réussir le réaménagement dépend beaucoup de la qualité de la préparation et des moyens mis en œuvre. Les résultats obtenus peuvent être médiocres :

- si le modelé de terrassement a été mal étudié, entraînant la déstabilisation des terrains et la destruction de la végétation mise en place ;

Figure 1 – Verse de stériles argileux réaménagée à l'avancement (Mayenne).

- en cas de mauvaise gestion des eaux de surface entraînant le ravinement des talus, la destruction des remblais et l'engravement des ouvrages en aval ;
- en cas de mauvais choix d'espèces végétales, non adaptés au milieu, au climat, et au substrat.

La préparation des terrains par terrassement

La pente des terrains

En carrière, les matériaux sont souvent manipulés ou exploités selon un angle d'équilibre limite. Les stériles sont par exemple généralement mis en tas par déversement depuis le haut. Ils adoptent donc un angle d'équilibre naturel mais limite. Cet état limite fait que la moindre perturbation entraîne une migration des particules, situées en surface du talus, vers le bas. La végétation a donc bien souvent du mal à s'installer sur un support mouvant. La pente naturelle d'un matériau dépend de ses caractéristiques géomécaniques et de sa granulométrie. Il a été toutefois fréquemment observé que les talus de remblais présentent des pentes proches de 35 à 37 degrés par rapport à l'horizontale (pente de déversement) ce qui induit des réussites de végétalisation très médiocres.

Il est donc conseillé d'abaisser la pente des talus constitués de remblais généralement de 5 degré par rapport à la pente naturelle afin d'accroître la réussite de la végétalisation. Pour des cas complexes, une étude de stabilité peut s'avérer nécessaire.

Dans le cas des fronts rocheux, la végétation s'installe plus facilement dans les anfractuosités, redans, etc. lorsque le front présente une pente maximale de 60 degrés par rapport à l'horizontale. Le découpage du front selon les structures et discontinuités naturelles va permettre au front de taille de retrouver plus rapidement un aspect originel et naturel, que ce soit en termes de couleur, de texture ou de flore. La conservation de fronts verticaux de grande hauteur

(supérieur à 15 m) peut en outre être favorable à la nidification de certaines espèces d'oiseaux.

La longueur des talus

Plus un talus est long, plus sa sensibilité à l'érosion est importante. Des remblais présentant des talus trop longs sont souvent sujets à des ravinements qui empêchent également la végétation de s'installer. On observe une meilleure réussite de la végétalisation si l'on divise les talus en plusieurs sections. Cette opération nécessite également de gérer les eaux en amont afin d'éviter les arrachements de matériaux par ravinement. Quel que soit le matériau, une longueur de talus de plus de 20 m compromet généralement les réussites de végétalisation.

La gestion des eaux de ruissellement est donc une étape clef afin d'éviter les désordres. Pour cela, on ralentit au maximum les vitesses de ruissellement et on réalise des chenaux sous forme de méandres, système de drainage en courbes de niveau très faiblement penté, bassins de ralentissement sous la forme de cuvette évasée et à pente faible.

Ces aménagements sont une opportunité pour favoriser le développement d'une biodiversité patrimoniale. Les bassins de décantation ou de ralentissement à pentes très douces favorisent ainsi la colonisation des sites par des batraciens, par exemple. La réalisation d'ouvrages de gestion des eaux utilisant des matériaux rustiques naturels comme des enrochements permet la création d'abris à reptiles.

Les opérations de terrassements, de stabilisation et de gestion des eaux, étape préalable au succès de la végétalisation nécessite une bonne connaissance du comportement des matériaux à manipuler et de la géologie du site. Cela implique au stade du projet l'intervention d'un géologue géotechnicien qui va définir les pentes et les ouvrages à réaliser. Son intervention pourra aller jusqu'à l'élaboration des plans topographiques d'exécution avec cahier des charges à destination d'un terrassier.

Figure 2 – La préparation des talus par terrassement est un préalable à la végétalisation - Création d'une alternance de milieux entre zones rocheuses et pente douces (Maîtrise d'œuvre Mica Environnement).



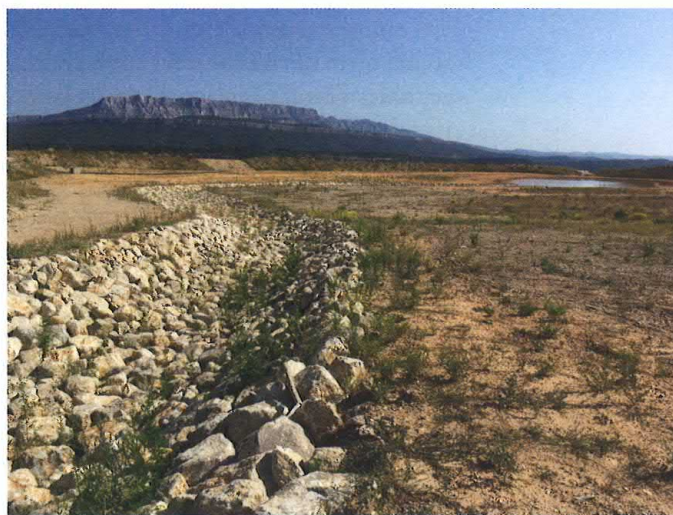


Grandemange Dominique - A. Vincent

Figure 3 – Exemple de réaménagement d'une verse d'argile à l'avancement avec pistes de gestion des eaux en courbes de niveau permettant de séparer les talus en plusieurs sections, bassins et descentes d'eau (Maîtrise d'œuvre Mica Environnement).



Mica Environnement - A. Vincent



Mica Environnement - A. Vincent

Figure 4 – Bassins à pentes douces, ouvrages de gestion des eaux en matériaux naturels permettent d'accroître la biodiversité (batraciens, lézards).

La végétalisation

La végétalisation des talus est une étape essentielle pour limiter l'érosion, l'insertion écologique et paysagère. Un projet de végétalisation peut être considéré comme une opportunité pour apporter une plus-value sur diverses thématiques environnementales. Il peut par exemple permettre de créer des paysages patrimoniaux ou d'augmenter les ressources pour des espèces menacées comme les pollinisateurs. Dans le cadre de mesures de réduction ou de compensation, le choix des espèces semées peut être crucial pour sauvegarder localement des milieux

herbacés à enjeu ainsi que les espèces qui les peuplent.

La technique de végétalisation herbacée par hydroseeding avec l'utilisation d'espèces locales et sauvages a été introduite dans le secteur des mines et carrières dans les années 1990 notamment chez Vicat qui a été précurseur dans ce domaine.

Cette technique a été mise au point par la société Siras (procédé Seravert), en collaboration avec le Cemagref (Irstea). Elle a permis pour la première fois de végétaliser des substrats stériles et pauvres peu propices à l'implantation végétale et ce, sans

apport de terre, ni arrosage. Cette technique a montré de nombreux succès sur n'importe quel matériau, et dans des régions au climat difficile comme en région méditerranéenne.

La réalisation d'un cahier des charges techniques précis et adapté

La technique nécessite au préalable l'intervention d'un expert maîtrisant la technique, généralement un botaniste, qui va observer l'exposition du site, prendre en compte le climat, les profils pédologiques, la granulométrie, le pH, les enjeux écologiques locaux, etc. Il va également inventorier les espèces sauvages qui poussent naturellement autour du site afin de préconiser un mélange permettant à des milieux similaires de se développer.

Suite aux relevés de terrain, l'expert réalise un cahier des charges techniques méticuleux pour les opérations de végétalisation. Dans celui-ci sont détaillés les caractéristiques du mélange de semences (choix des espèces, leur origine, la composition spécifique du mélange ainsi que la quantité de semences, etc.), les adjuvants (engrais, colloïdes adaptés aux semis et à la nature des terrains, alginates et fertilisants adaptés aux plantes sauvages, etc.) ainsi que les modalités d'application. L'expert doit tenir compte de la présence d'espèces végétales exotiques envahissantes aux abords du site dans ses préconisations car elles sont susceptibles d'être favorisées par les opérations de préparation du substrat ou de semis, notamment en cas d'apport d'engrais. De la même manière, si des milieux sensibles, en particulier des pelouses sèches ou des mares, se situent en aval, ils sont susceptibles d'être affectés par le ruissellement d'azote issu des opérations de végétalisation. Il faut ainsi retenir que le cahier des charges doit procéder à une analyse portant sur un état des lieux précis des composantes environnementales.

L'utilisation d'espèces locales

Le choix des espèces se porte généralement sur des espèces rustiques, résistantes aux contraintes du substrat des sites miniers ou des carrières, aux climats, au faible entretien. Aujourd'hui en France, on compte environ 15 producteurs de semences sauvages: Phytosem, Zygène, Meac, Ceve, Nungesser, Adasms, Semence nature, Novaflore, Sepant, Econeds, Gazons de France, Limagrain...

En réponse à des problèmes génétiques liés à l'importation de semences provenant de territoires lointains (d'autres régions biogéographiques voire

d'autres continents), deux marques collectives simples, "Végétal local" et « Vraies messicoles », ont été créées en 2015 à l'initiative de la Fédération des Conservatoires Botaniques Nationaux, l'Afac - Agroforesteries et Plante & Cité. La marque Végétal local est aujourd'hui portée par l'Office Français de la Biodiversité qui en est désormais propriétaire. Le CBN Pyrénées Midi-Pyrénées, l'Afac-Agroforesteries et Plante & Cité en assurent l'animation à l'échelle nationale. Elles sont destinées à promouvoir la production et la collecte d'écotypes locaux suivant 11 régions Française dont la Corse. Le botaniste en charge de la rédaction du cahier des charges doit tenir compte de la disponibilité en semences locales dans le choix des espèces préconisées afin d'éviter les importations d'autres continents.

Les dérives

Le savoir-faire relatif à la technique d'hydroseeding subsiste aujourd'hui au travers de plusieurs sociétés issues de Siras qui maîtrisent encore cette technique :

- des producteurs de semences sauvages et locale tel que la société Zygène basée dans la Drôme et dont le gérant est directement issu de Siras ;
- des fournisseurs d'adjuvants et engrais comme la société Euro-tec ;
- la réalisation de cahier des charges de type « Sera-vert » maîtrisée par Mica Environnement dont les botanistes sont également issus de Siras ;
- plusieurs applicateurs et ensemeurs (Alp Azur Environnement, Millet paysage, EL, Satar, Dinger...). Ils sont équipés de camion et engins divers 4x4 permettant de rouler sur les talus et d'accéder aux topographies difficiles.



Figure 6 – Hydroseeder 4x4 permettant d'accéder dans les talus (engin Satar).

Avec les années, cette technique a subi des dérives dont les causes sont multiples.

Les chantiers de végétalisation sont des travaux où la réussite de l'opération ne se voit pas immédiatement. De ce fait, il est essentiel d'imposer à l'entreprise un cahier des charges défini au préalable par un

Figure 5 – La marque végétale local permet de promouvoir la production d'espèces sauvages locales.





Figure 7 – Terril de schistes et carrière de grès avant et pendant la végétalisation par des espèces sauvages (Maîtrise d'œuvre Mica Environnement).



Figure 8 – Évolution naturelle du site après végétalisation.

botaniste qui maîtrise la technique, mais également de surveiller si les semences sont appliquées en quantité et qualité sur le terrain, et dans des conditions météorologiques favorables.

Or, les ensementeurs sont souvent sollicités pour végétaliser des sites sans aucun cahier des charges ni surveillance de l'opération ce qui peut entraîner un résultat médiocre en cas de manque de quantité en produit ou en variété de semences.

Le marché des semences sauvages connaît depuis plusieurs années les dérives de la mondialisation avec l'arrivée en France de graines provenant de tous les continents possibles (voir l'exposé de Patrick Bourdige « Semences de plantes sauvages : l'envers d'un décor » Colloque international de l'AGéBio de 2015 à Lyon). Actuellement l'Europe de l'Est, Pologne, Hongrie sont de très gros fournisseurs d'espèces sauvages.

Le coût d'achats rendu en France est en effet très attractif, mais des semences venues de Nouvelle Zélande (Ex Plantain lancéolé, achillées millefeuille, crénelle) ne sont pas forcément adaptées au climat méditerranéen. La généralisation de ces pratiques entraîne également des problèmes de perte de biodiversité, altération des souches locales, et une homogénéisation des génotypes. Le recours à des semences d'origine génétique locale (par exemple labellisées « végétal local » ou « vraies messicoles ») doit permettre d'endiguer ce phénomène.

Autre pratique courante : remplacer une espèce par

une autre, ou omettre une espèce dans un mélange. Il est essentiel que le maître d'œuvre en charge de la surveillance du chantier sache reconnaître les espèces à partir des graines, et fasse livrer sur le chantier les espèces à coté élevé de manière séparé.

L'usage de semences enrobées à base d'argile est également une pratique courante car cette technique permet de protéger la semence. Toutefois, les semences pèsent plus et donc sont mise en œuvre selon des quantités moindres. Cet aspect est également à surveiller par le botaniste.

Si cette technique est particulièrement adaptée au secteur des mines et carrières et marche dans beaucoup de contextes, les dérives ont entraîné parfois de mauvais résultats, mettant en doute la fiabilité de la technique de végétalisation par hydroseeding.

Les techniques de mycorhization et utilisation d'organismes symbiotiques

Lorsque les substrats présentent des pH acides (souvent inférieurs à 4), ou de fort taux en métaux (cas des stériles ou résidus de mines métalliques par exemples), les techniques classiques de végétalisation sont souvent un échec.

Pratiquement toutes les plantes herbacées ou ligneuses vivent en symbiose avec des champignons. Le champignon a la capacité d'absorber des sels minéraux et de les transmettre à la plante ; il a également un rôle actif pour l'alimentation azotée de la plante. Les mycorhizes jouent également un rôle



© S. Soussou



© S. Soussou

Figure 9 – Utilisation des techniques de microorganismes symbiotiques sur une mine de fluorine avec pH acide par la société Fertili'innov. Échec de la végétalisation par les méthodes classiques et résultats après 2 ans avec microorganismes symbiotiques.

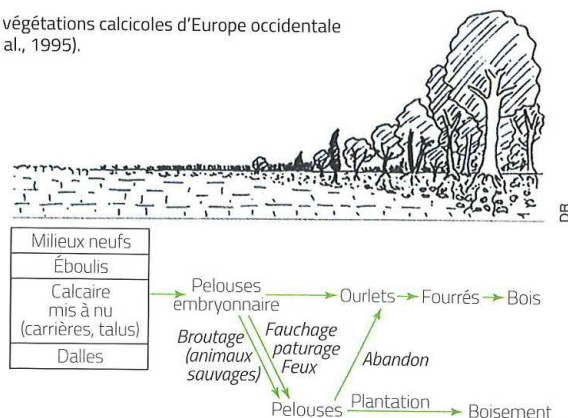
favorable dans l'alimentation en eau, la production d'hormone et la lutte contre certaines maladies des plantes. Elles permettent aux espèces de se développer sur des supports de faible fertilité avec une meilleure tolérance à la sécheresse et aux métaux.

Ces techniques sont aujourd'hui maîtrisées par la société Fertili'innov par l'utilisation des microorganismes symbiotiques, ou par la société Valhorhiz qui manipule des microorganismes rhizosphériques (bactéries et champignons) par isolement, qualification et inoculation contrôlée des plantes.

La manipulation de la terre végétale

Si, pendant des années nous avons essayé d'imiter, parfois à grand frais, ce que la nature a très bien créé d'elle-même, nous avons aussi négligé la terre végétale sur beaucoup de site en exploitation. En effet, celle-ci est souvent mise en merlon en bordure de carrière ou stockée sur de grandes hauteurs et abandonnée de nombreuses années, voire oubliée. Il est important de garder à l'esprit l'existence de fortes interactions entre la végétation et le sol. La végétation modifie le sol et influence la pédogenèse. Les caractéristiques du sol influent sur la composition floristique de la végétation qui s'y développe.

Figure 10 – Dynamique des végétations calcicoles d'Europe occidentale (modifié d'après Maubert et al., 1995).



Le sol est une banque des semences des espèces sauvages qui s'expriment au travers de la végétation. Le sol contient également un pool de microorganismes qui interagissent avec les plantes et dont certains facilitent très significativement leur croissance

(ex. mycorhization). La faune du sol a également un rôle important dans la qualité « agronomique » du substrat (lombrics, bousiers, etc.) via l'entretien d'une certaine porosité du sol et l'incorporation de la matière organique. Le sol est une ressource précieuse. Le conserver, préserver ses qualités et optimiser son utilisation dans les travaux de réaménagement est un enjeu. Le transfert de sol est l'un des moyens d'utiliser le sol décapé.

Quand faire du transfert de sol ?

En cas de destruction d'un secteur A où s'est développée une végétation et pour initier, faciliter, accélérer le développement d'une telle végétation dans un secteur B (zone à réaménager par exemple). L'opération a un double objectif de conservation (sauver le sol et la banque de graines correspondant à une végétation donnée avant destruction) et de restauration/création/extension d'une végétation cible. Le transfert s'applique à toute végétation, des pelouzes pionnières aux boisements.

Comment ?

- 1- Préparer les secteurs receveurs par des opérations de terrassements (pente 25° à 30°) et de griffage du sol.
- 2- Prélèvement des 5-15 premiers centimètres de sol avec un godet de reprise (ou de chargement) sans dents, soit en plaques (a), soit en vrac (b).
- 3- Transport dans le godet de la pelle et éventuellement en camion, le cas échéant sans empiler les plaques.
- 4- Dépôt sur le site receveur le même jour que le jour du prélèvement, léger tassement avec le dos du godet pour limiter les aspérités (limiter l'implantation des anémochores rudérales) et favoriser l'adhérence.
- 5- Arrosage léger éventuel pour augmenter l'adhérence et favoriser la reprise.

Le transfert en plaque permet a priori de conserver un peu mieux la structure du sol, de limiter la mobilisation de l'azote dans le sol (favorable aux espèces rudérales) et à conserver un couvert végétal dès le début qui limite l'installation des rudérales. Il a le

désavantage d'induire un plus grand nombre de rotation d'engins. Le panachage des deux techniques est possible.

Résultats ?

Les retours d'expérience sur ces techniques sont ou rares, ou peu diffusés, mais pour les deux expérimentations évoquées, les résultats sont très encourageants. Le transfert de sol peut avoir des résultats décevants : les dépôts sont sensibles à l'érosion, des espèces rudérales peuvent s'installer exercer une forte compétition sur les espèces cibles et la composition est rarement similaire à l'initiale, au moins dans les premières années. Certains organismes sont délicats à transférer (ex. fourmilières) et peuvent néanmoins être importants pour le développement de certaines espèces végétales ou animales (ex. Azuré du Serpolet). Ce n'est donc pas parce qu'on arrive à recréer la végétation/habitat qu'on conserve les espèces à enjeux.

Les plantations

Les plantations ligneuses, arbres et arbustes, sont un complément qui permet d'apporter de la diversité en matière de milieux et d'espèces. Là encore, des espèces rustiques, adaptées aux milieux et nécessitant le minimum d'arrosage sont privilégiées.

Le choix des essences peut être fait selon divers objectifs. Par exemple, des espèces dont les périodes de floraison/fructification échelonnées peuvent permettre de fournir une alimentation étalée dans le temps pour l'avifaune et les pollinisateurs. Une carrière dans le Rhône a par exemple vu l'apparition d'oiseaux protégés sur sa zone réaménagée suite à un projet de plantations s'appuyant sur ce principe.

Conclusion

L'intégration écologique passe avant tout par la diversité des choix de réaménagement qui seront adoptés : zones humides, conservation de fronts rocheux stables, prairies, éboulis et pierriers, zones ouvertes et zones boisées.

Dans tous les cas le réaménagement est une opération pluridisciplinaire qui fait appel à la stabilité des pentes et la mise en sécurité, l'hydrologie et l'hydrogéologie pour la gestion des eaux, l'écologie et la botanique, et enfin le paysage.

Le réaménagement peut s'avérer bien moins coûteux lorsqu'il est réalisé à l'avancement de l'opération d'extraction et qu'il est réfléchi bien en amont comme une véritable étape de chantier.

A. Vincent, Présidente de Mica Environnement
M. Douarre, Botaniste de Mica Environnement



Figure 11 – À gauche, opérations de restauration de pelouses sèches en Crau par transfert en plaque (Dutoit, Jaunatre - IMBE, Université d'Avignon). À droite, opérations de restauration de pelouses calcicoles en Dordogne par transfert en vrac (Pradinas, Douarre)



Figure 12 – Exemple de verse de latérites végétalisées par transport de top soil en vrac sur une mine de Nickel en Nouvelle-Calédonie - Conception du réaménagement par Mica Environnement.



Figure 13 – Colonisation par des oiseaux patrimoniaux du site réaménagée d'une carrière dans le Rhône grâce à la mise en œuvre de plantations à floraison/fructification échelonnée (Maîtrise d'œuvre Mica Environnement).



Figure 14 – Carrière de grès en Lorraine. Variété des milieux, fronts rocheux, zone humide, pelouse, zone boisée participe à l'intégration écologique (Maîtrise d'œuvre Mica Environnement).