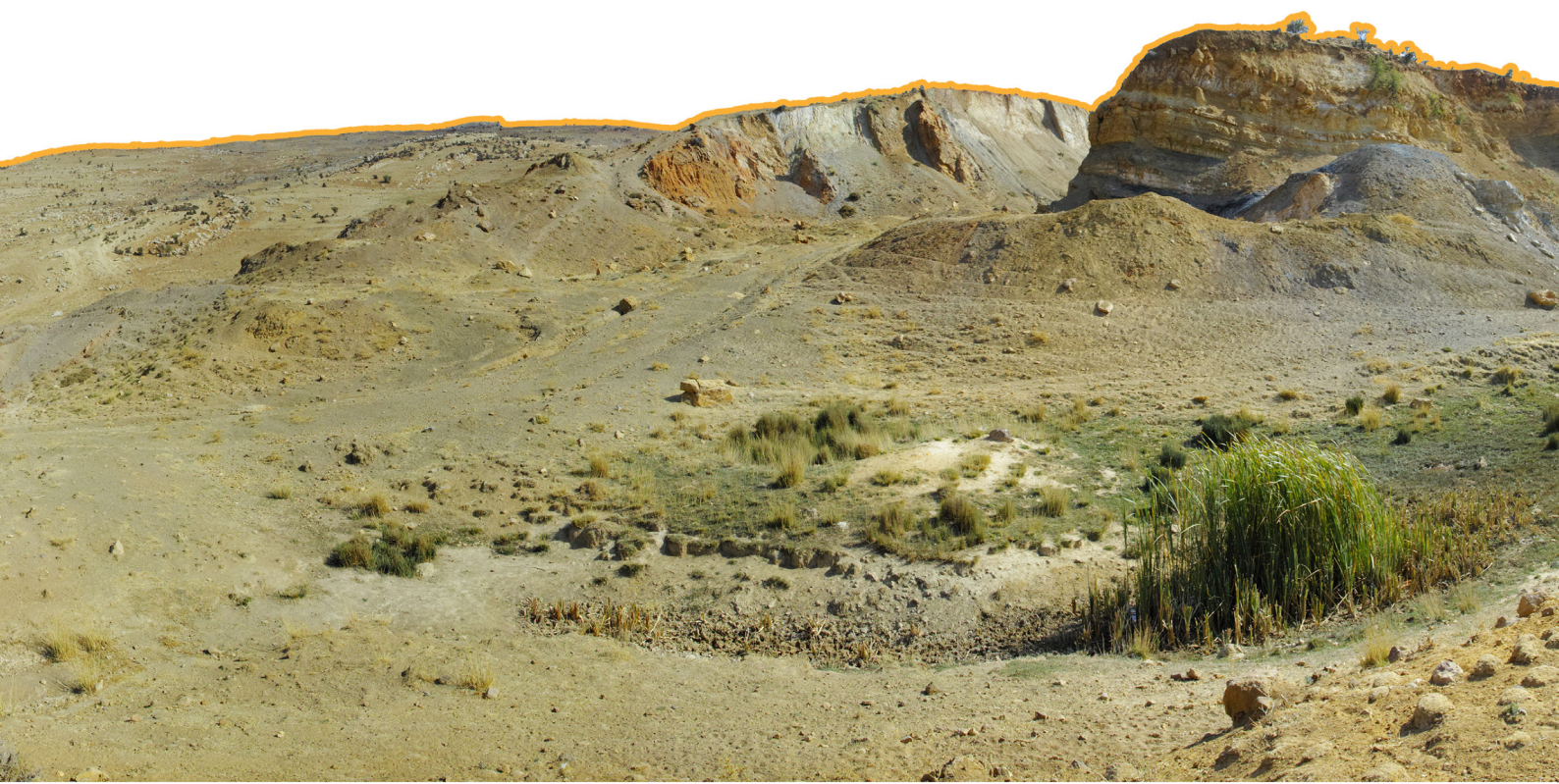


# RÉHABILITATION DES CARRIÈRES EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE: DÉFIS OU BESOINS INCONTOURNABLES?



Ouvrage collectif financé par l'AUF et le CNRS-L et rédigé par un groupe de chercheurs avec la collaboration du service technique du Ministère de l'Environnement.





# **RÉHABILITATION DES CARRIÈRES EN REGION MÉDITERRANÉENNE:**

**DÉFIS OU BESOINS INCONTOURNABLES?**

Le présent ouvrage est le fruit d'un travail de coordination par Thierry Dutoit, Mohammed Yessef et Carla Khater, et d'une collaboration scientifique entre des chercheurs, doctorants, techniciens et praticiens impliqués dans la recherche et la mise en œuvre de projets de réhabilitation de carrières avec la contribution des services techniques du Ministère de l'Environnement au Liban.

Il est financé par l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) et le Conseil National de la Recherche Scientifique - Liban (CNRS-L).

Il regroupe des retours d'expériences du Liban, de la France et du Maroc et repose sur les efforts des contributeurs suivants (par ordre alphabétique):

Bouamar Baghdad; Karen Bernard; Armin Bischoff; Karma Bouazza; Lamiae Boufaticha; Pierre Bourguet; Denis Brouillet; Elise Buisson; Adeline Bulot; Julie Chenot; Alexandre Cluchier; Christine Deneriaz; Lara Dixon; Sophie Duhautois; Alice Dupré La Tour; Aure Durbecq; Thierry Dutoit; Hassan El Hadi; Johnny Fenianos; Gérard Fillipi; Santiago Forero; Philippe Gourdain; Marc Inglebert; Renaud Jaunâtre; Carla Khater; Meriem Laghlimi; Julien Laignel; Clara Lorinquer; Audrey Marchand; Stéphane Martin; Henri Michaud; Paul Moussa; Maya Nehme; Vincent Prévost; Brahim Souidi; Marion Soulairol; Abdelkader Taleb; Meriyem Taoufik; Adel Yacoub; et Mohammed Yessef.

Cet ouvrage a été révisé par:

Thierry Dutoit; Philippe Gourdain et Carla Khater

Traduction par:

Claire Grandchamps

Illustrations par:

IL Y A paysage

Layout et design par:

Léna Farran

Merci de citer ce document comme suit:

**Khater, C., Yessef, M., & Dutoit, T. (2019). Réhabilitation des carrières en région méditerranéenne: défis ou besoins incontournables? CNRS-L / AUF**



# Table des MATIÈRES

6	Préface
9	I. Introduction
13	II. La région méditerranéenne: un contexte complexe
15	III. Les carrières: un exemple marquant de dégradation
23	IV. Ecologie de la restauration et restauration écologique
27	V. Les verrous scientifiques, technologiques et sociaux à la mise en œuvre de la restauration écologique
29	VI. Fiches Techniques
31	•1. Restauration et succession écologiques des prairies montagnardes de Haute-Durance après perturbation du sol
35	•2. Réhabiliter ou laisser faire la nature dans les carrières alluvionnaires sèches méditerranéennes
39	•3. Essai de restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par transfert de plaques de sol
43	•4. Restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par création de technosols
47	•5. Restauration d'une pelouse méditerranéenne par transfert de sol en vrac avec respect de l'organisation des horizons pédologiques
52	•6. Réaménagement écologique des sites miniers dans la région de Milos - Grèce
57	•7. Phytoremédiation des déchets miniers et des sols contaminés: Carrières minières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc
60	•8. L'enjeu des suivis de biodiversité dans le cadre de la restauration des mines et carrières. Exemple de l'Indicateur de Qualité Ecologique
65	•9. Réhabiliter des perceptions pour mieux restaurer des écosystèmes
68	•10. De l'approfondissement des connaissances bio-écologiques d'une espèce protégée à sa conservation: le cas de l'Hélianthème à feuilles de Marum ( <i>Helianthemum marifolium</i> Mill., 1768)
72	•11. Les carrières abandonnées face à la problématique des déchets en zones rurales: Cas des carrières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc
77	•12. Réhabilitation en Damier
81	•13. La géomatique au service de la réhabilitation des carrières: Cas des carrières abandonnées d'Akreuch, Rabat - Maroc
87	•14. Phytostabilisation des décharges en carrières après réhabilitation
91	•15. Contexte de l'exploitation des carrières au Liban
96	VII. Références

## Préface

Convaincus de l'importance d'œuvrer pour la résolution des problématiques environnementales, le CNRS Liban et l'AUF soutiennent les projets de recherches innovants, émergents et prioritairement interdisciplinaires. L'importance et surtout l'urgence d'être en première ligne quand il faut anticiper ou réagir rapidement s'imposent à l'Etat libanais et forcent le secteur de la recherche à proposer des méthodes fiables permettant notamment la réhabilitation des carrières abandonnées ou celles en cours d'exploitation. Plus de 1 300 sites d'exploitation de graviers, sable, pierres de taille ou cimenteries parsèment en effet le paysage naturel au Liban et plus des deux tiers de ces sites sont actuellement abandonnés. Il semble donc impératif de faire le bilan des impacts de cette exploitation et de proposer des approches intégrées pour leur remise en état.

L'écologie de la restauration est une science pleine de promesses. Elle permet de composer avec les contraintes du milieu, et de proposer des méthodes d'intervention visant à la fois une intégration paysagère optimale, un rétablissement des connectivités écologiques et de la biodiversité et une prise en compte des priorités et attentes sociales des communautés environnantes et des parties prenantes.

Ce projet d'ouvrage commun regroupant des techniques scientifiques testées ou en cours de tests autour de la méditerranée, ambitionne de permettre aux praticiens, décideurs et chercheurs, un accès à des cas d'études en mettant en avant leurs champs d'application et leurs limites. La conception de cet ouvrage s'inscrit dans une politique institutionnelle de partenariat autour de la Méditerranée, elle s'appuie sur un réseau de chercheurs, d'universitaires et d'ingénieurs impliqués dans la problématique des carrières et la complexité de leur réhabilitation, notamment lorsque cette dernière se veut écologique; qu'ils soient ici remerciés pour leurs contributions à la fois qualitatives et d'une grande richesse. Ce travail a permis de renforcer le réseau du CNRS Liban, de l'AUF et des chercheurs de différents horizons pour soutenir les efforts de partages d'expertises et techniques en matière de restauration d'espaces dégradés.

Afin de permettre une diffusion aussi large que possible de ce guide sur le pourtour du bassin méditerranéen, et d'assurer que le plus grand nombre de personnes concernées puissent bénéficier des expériences et techniques qu'il renferme, le CNRS-L prévoit, dans un deuxième temps, de publier des versions arabe et anglaise.

**Mouïin Hamzé, Secrétaire général - CNRS Liban**  
**Hervé Sabourin, Directeur Régional - AUF**  
**Beyrouth, le 24 juillet, 2019**

## Préface

Nous sommes tous conscients de l'impact de l'environnement sur notre vie quotidienne et notre statut sanitaire tant l'impact environnemental que l'impact visuel que laissent les exploitations de carrières ne nous laissent indifférents vu la détérioration qui en découle. En effet, ce secteur est devenu une source de pression tant environnementale qu'économique à l'échelle nationale. D'où, le rôle crucial du gouvernement actuel «Au Travail» d'œuvrer pour établir une stratégie nationale à long terme, qui vise notamment à réhabiliter des zones endommagées et à adopter un plan avant-gardiste dans ce secteur. De même, le gouvernement actuel s'est engagé à limiter l'urbanisation aléatoire et le chaos pour sauver ce qui reste de nos montagnes ainsi que le littoral et les espaces verts. Dans ce contexte, le ministère de l'environnement se lance dans la mise en place d'un plan détaillé de gestion de ces dossiers et plus particulièrement dans l'activation de maints outils au service d'une bonne prise de décisions.

Actuellement, toutes les carrières qui existent au Liban doivent être sujettes à un plan de réaménagement assimilé au plan d'exploitation. De même, une évaluation de l'impact environnemental devrait s'y appliquer: une analyse du contexte global de chaque carrière devrait être mise en place minutieusement avant toute activité afin de mieux gérer les impacts de l'exploitation. Une fois les travaux au sein des sites achevés, ces derniers se doivent une nouvelle vocation corrective. Une vocation corrective pourrait tout simplement commencer par une transformation radicale du site en espace agricole ou forestier voire même en un espace vert à fins économiques, sociales et notamment environnementales, apportant des solutions techniques aux problèmes environnementaux telles que la gestion des déchets solides récurrente au Liban.

En définitive, cet ouvrage résultant d'une recherche poussée appuyée par les principes écologiques et le savoir-faire dans le secteur de l'aménagement du paysage ne peut que contribuer à une restauration environnementale et une conservation du patrimoine national et écologique nécessaires pour un meilleur avenir. L'expertise dont fait preuve cet ouvrage met en exergue le rôle tant penseur qu'exécutif du gouvernement et des ministères concernés pour donner le droit aux générations futures de jouir d'un monde meilleur, moins pollué et plus sain.

**Fady Jreissati, Ministre de l'Environnement – Liban**  
**Beyrouth, le 24 juillet, 2019**



## Objectif

Après une introduction présentant la question de la dégradation des écosystèmes dans le contexte méditerranéen, un état des lieux des carrières et une explication du concept d'écologie de la restauration et des principaux verrous limitant sa mise en œuvre; le cœur de ce manuel présentera 14 fiches techniques illustrant des techniques récentes ou en cours de test sur des milieux dégradés. Chacune de ces fiches transcrit des tests expérimentaux ou des techniques (en cours de test ou déjà validées) avec leurs objectifs, les principes à mettre en œuvre, les aspects pratiques (recommandations, limites et conditions d'applications) et les coordonnées de la personne à contacter pour plus d'informations.

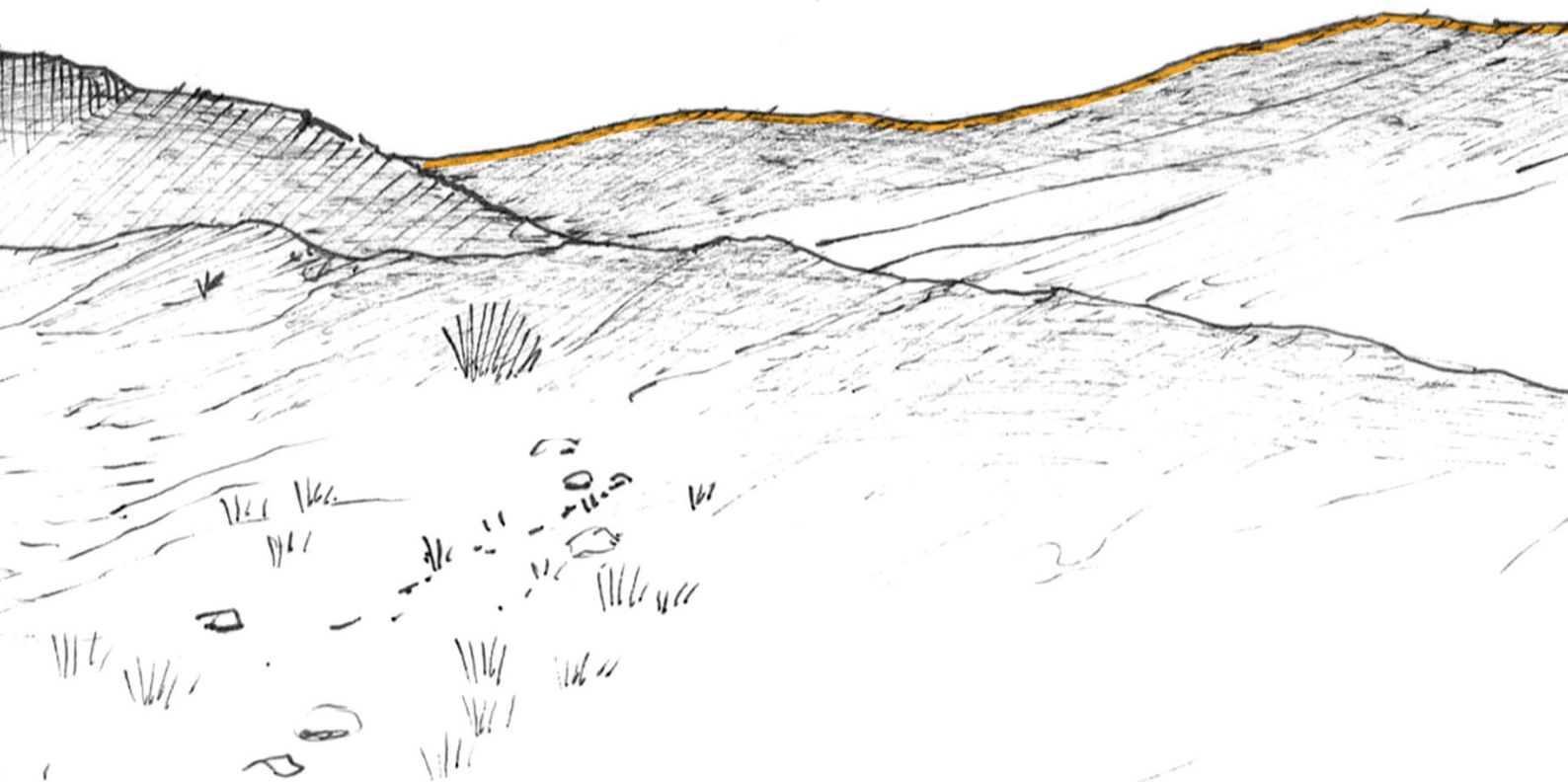
Le réseau mis en place et la collaboration entre chercheurs et praticiens de la restauration écologique au niveau du bassin méditerranéen a permis la réalisation de ce guide de retours de pratiques expérimentales innovantes qui s'adresse à des chercheurs et praticiens à la recherche de nouvelles propositions de solutions à tester.

Il vise à:

- Accroître les collaborations entre chercheurs et praticiens de la restauration écologique au niveau du bassin méditerranéen;
- Proposer un guide de retours de pratiques expérimentales innovantes, qu'elles aient abouti ou non, à destination des chercheurs et praticiens à la recherche de nouvelles propositions de solutions à tester.

Les contributeurs à cet ouvrage se sont investis pour porter à connaissance, de façon concise, un grand nombre de retours d'expériences ou de travaux en cours. Qu'ils soient ici chaleureusement remerciés pour le temps accordé. La qualité et la diversité des contributions donnent une grande richesse à ce document qui ambitionne un «tour d'horizon», certes incomplet, mais cependant représentatif de la question de la réhabilitation des mines et carrières en contexte méditerranéen. Si ces travaux pouvaient inspirer d'autres acteurs, qu'ils soient chercheurs, universitaires, techniciens ou exploitants de mines et carrières, pour une meilleure intégration des questions de biodiversité au quotidien et sur le long terme, alors cet ouvrage aura atteint son objectif.

# I. Introduction



## Introduction

En ce début de 21<sup>ème</sup> siècle, entre un tiers et la moitié de la surface de la terre a été transformée par les activités humaines (Vitousek *et al.*, 2009) dont 85% en Europe (Primack *et al.*, 2012). Ces activités ont pour conséquences non seulement de modifier les grands cycles biogéochimiques mais également d'impacter fortement la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes en y ajoutant ou supprimant des espèces, des populations ou des communautés (Vitousek *et al.*, 2009). Ces impacts sont alors responsables d'une érosion de la biodiversité estimée de jusqu'à mille fois supérieure au taux naturel d'extinction (Pimm *et al.*, 1995).

Les actions de l'homme sur son milieu de vie sont régies par deux types de valeurs. Les premières sont les valeurs intrinsèques qui correspondent à la vision selon laquelle la nature, les ressources qui lui sont associées, la biodiversité et les écosystèmes, indépendamment de toute utilisation humaine méritent cependant d'être conservés pour ce qu'ils sont comme «une fin en soi» (Couvet & Teysède-Couvét, 2010).

Les secondes sont les valeurs instrumentales, qui correspondent à une vision selon laquelle la nature prend son sens en fonction des «services» qu'elle rend aux hommes. Cette vision anthropocentrée du monde réduit la nature au rôle qu'elle joue par rapport à l'homme. Il s'agit de «la valeur d'usage nécessaire à la vie humaine» (Garnier, 2008). Les services écosystémiques désignent ainsi une (ou plusieurs) fonction(s) des écosystèmes bénéficiant aux humains parmi d'autres organismes (Couvét & Teysède-Couvét, 2010).

*Le Millenium Ecosystems Assessment* (2005) a distingué quatre catégories de services écosystémiques:

- 1- Les services d'approvisionnement rassemblant les ressources matérielles qui ont le plus souvent une valeur marchande et qui sont fournis par les écosystèmes aux humains (nourriture, bois et fibres, carburants, ressources génétiques, molécules et produits pharmaceutiques, eau potable...);
- 2 et 3- Les services de régulation environnementale et de support des écosystèmes, qui concernent les fonctions de régulation des socio-écosystèmes, qui permettent et maintiennent les activités humaines;
- 4- Les services culturels qui concernent le cadre de vie des humains ainsi que leurs conceptions de la nature et de ses enjeux.

Parmi les Objectifs du Développement Durable (ODD) (PNUD, 2018), le quinzième se focalise en particulier sur "la préservation et la restauration des écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, à gérer durablement les forêts, à lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement des écosystèmes".

La dégradation des écosystèmes, le déclin de la biodiversité, de la qualité et de la disponibilité des ressources naturelles qui lui sont associés, s'accompagnent également d'un déclin des services écosystémiques et représentent donc une menace dont les conséquences se révèlent non seulement sur les plans écologiques, mais aussi sociaux et économiques. Depuis le sommet de la Terre, Rio



(1992), il s'impose de plus en plus que cette dégradation "met gravement en péril le développement humain".

Le Centre National d'Information des Nations Unies (<https://www.unric.org>) rapporte les chiffres suivants: sur 30% de couvert forestier pour l'ensemble de la surface terrestre, une disparition annuelle de 13 millions d'hectares et la mise en péril de près de 1,6 milliard de personnes sont constatées. L'habitat de plus de 80 % de la faune, des plantes et insectes est menacé.

De même, et à cause des processus de désertification, 12 millions d'hectares de terres sont irréversiblement détruits tous les ans (soit près de 23 ha par minute). Les conséquences de cette dégradation des sols sur les communautés humaines sont très graves surtout pour les populations les plus pauvres (ibid.).

Enfin et au niveau de la biodiversité, près de 8% des espèces animales sont déjà éteintes et près de 22% seraient menacées de disparaître; un total répertorié de près de 80 000 espèces végétales, qui jouent un rôle primordial dans l'équilibre des écosystèmes, sont menacées.

La Convention sur la Biodiversité (CBD, 1992) fixe à 15% l'objectif pour 2030 de restauration des écosystèmes à l'échelle de la planète. Les activités extractives sont en partie responsables de la dégradation des milieux naturels et de la biodiversité. Il est donc indispensable que les professionnels de l'extraction de matériaux prennent leurs responsabilités en limitant au maximum l'impact de leurs activités et en anticipant le réaménagement des sites avec une vocation de conservation de la «biodiversité».





## II. La région méditerranéenne: un contexte complexe





## La région méditerranéenne: un contexte complexe

La région méditerranéenne est considérée comme particulièrement sensible, à la fois en raison de ses caractéristiques géologiques et par sa situation d'interface, entre régions écologiques arides et tempérées, avec des changements climatiques attendus importants et une pression anthropique majeure sur les ressources et les espaces (Benoit & Comeau, 2005).

L'avenir de l'environnement en Méditerranée est affiché comme une préoccupation majeure des états et se traduit par l'identification de priorités thématiques centrales comme l'eau, la biodiversité, la gestion des déchets solides, les émissions industrielles, l'énergie et notamment les énergies alternatives, les services écosystémiques et la gestion intégrée des zones côtières.

La Méditerranée, qui se trouve au cœur de 3 continents, est bordée de 40 000 km de côtes de 22 pays. Son pourtour était peuplé de 276 millions d'habitants en 1970, un chiffre qui a atteint 460 millions en 2010 et qui, selon les prévisions, pourrait atteindre 523,7 millions d'habitants en 2025 (Benoit & Comeau, 2005).

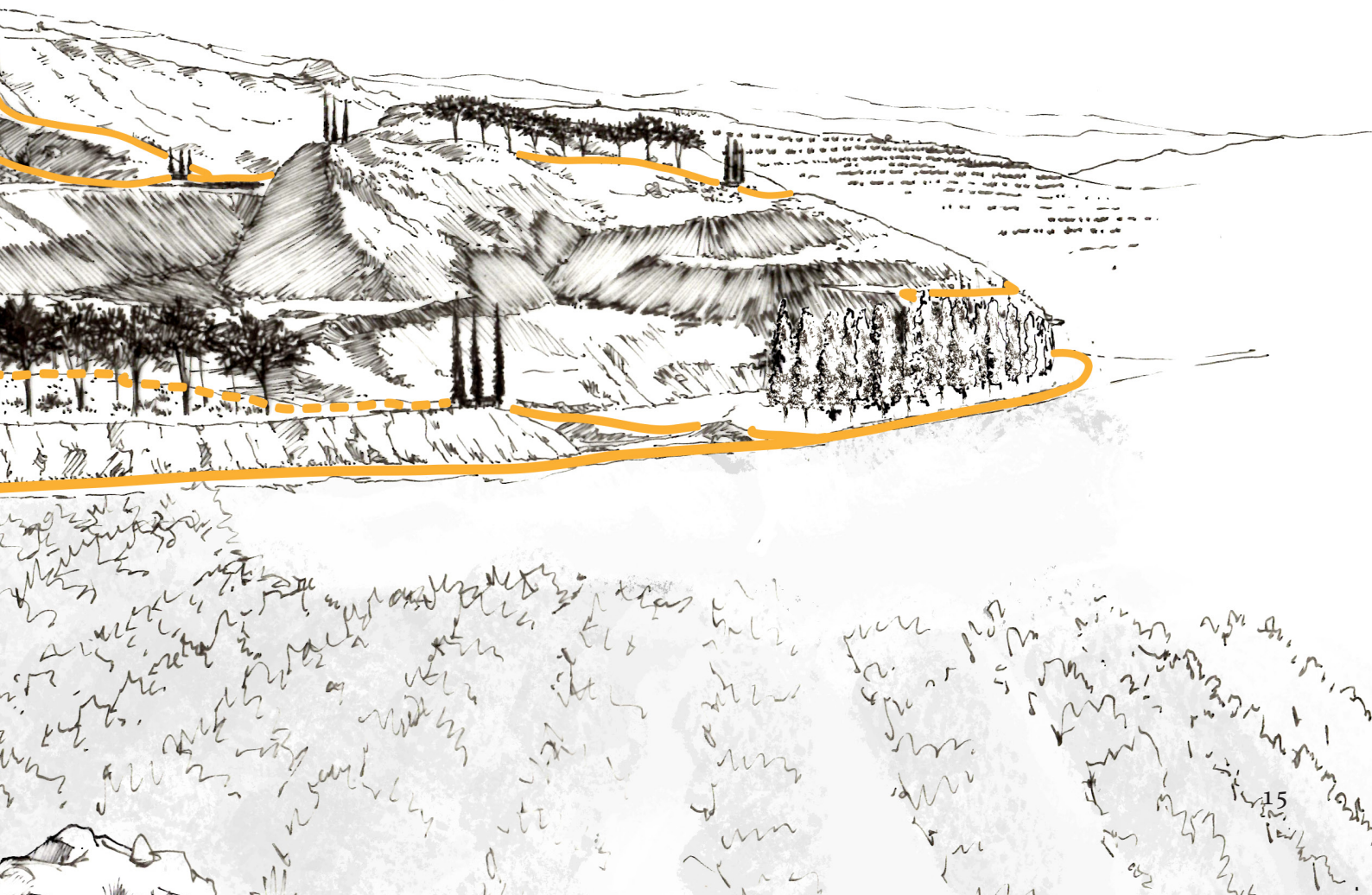
Patchwork écologique et sociopolitique, le bassin méditerranéen est un hotspot de biodiversité, qui recèle 8% de la richesse spécifique mondiale avec un taux d'endémisme proche de 50% (pour la flore), et près du tiers du volume de touristes (soit 300 millions par an) correspondant au quart des recettes mondiales du tourisme (ibid.).

Le bassin méditerranéen a connu une présence humaine depuis le néolithique, et est marqué par des pressions anthropiques diverses (urbanisation, infrastructures touristiques, exploitation des ressources naturelles, accroissement du commerce maritime, usage irraisonné des ressources en eau, l'installation des espèces invasives, l'érosion des sols, et la fragmentation des habitats et des paysages) ainsi que par différents aléas naturels (séismes, volcanisme, inondations, sécheresse, épisodes météorologiques extrêmes et influences du changement climatique global).

Le coût de la dégradation environnementale sur le bassin méditerranéen est estimé entre 2,1 et 7% du PIB des pays du pourtour méditerranéen. Cette même estimation pour l'ensemble du Moyen-Orient et les pays de Nord Afrique oscille autour de 5,7% des PIB. Pour le Liban elle a été évaluée (en l'an 2000) à près de 2,9 % soit près de 485 millions de dollars par an. Depuis la crise régionale liée à la guerre en Syrie, ces chiffres ont augmenté de façon considérable. Une estimation de 2015 porte ainsi à 15 milliards de \$ le montant des pertes économiques et environnementales (MOE, 2003).

Malgré leur richesse en biodiversité et en ressources naturelles, les écosystèmes méditerranéens subissent des pressions importantes, notamment anthropique et climatique, qui menacent leur existence. Et si les problèmes ne sont pas comparables entre les rives nord, sud et est de la Méditerranée; les besoins en termes de gestion de la biodiversité et des espaces naturels sont similaires même s'ils sont exprimés de façons différentes selon les pays. La Méditerranée représente ainsi, d'ores et déjà, l'objet principal des efforts de conservation (Khater, 2015).

### III. Les carrières: un exemple marquant de dégradation



## Les carrières: un exemple marquant de dégradation

Une carrière est un site d'exploitation de pierres, de sables et de minéraux non métalliques, ni carbonifères. Les carrières sont avant tout et surtout à la base du développement urbain et du secteur de la construction. L'exploitation des ressources minérales est ainsi indispensable pour la construction des bâtiments et des infrastructures linéaires de même que pour la manufacture des ustensiles du quotidien, des verres aux téléphones portables (UNICEM, 2017).

Parmi les ressources minérales exploitées figurent les granulats qui sont définis comme des morceaux de roches dont la taille est comprise entre 0 et 125mm (UNPG, 2017). Ils peuvent être obtenus soit en exploitant directement les alluvions détritiques non consolidées, de type sables et graviers des rivières; soit par concassage des roches massives. Il existe trois types de granulats selon leur nature et leur origine: (1) les granulats d'origine alluvionnaire correspondant à des matériaux non consolidés, généralement déposés pendant l'ère quaternaire par les glaciers, les cours d'eau ou sur les fonds marins peu profonds; (2) les granulats de roches massives (roches éruptives, calcaires, sédimentaires, métamorphiques) et (3) les granulats de recyclage et artificiels obtenus en concassant des matériaux de démolition issus de bâtiments ou de chaussées (béton, pierre de taille, etc.) et des sous-produits de l'industrie (laitiers de hauts-fourneaux, mâchefers, etc.) (UNPG, 2017). Il est à noter que pour limiter les coûts de transport relativement élevés de ces matériaux, les sites de production ont été logiquement implantés à proximité des lieux de consommation notamment des grands chantiers et parsement ainsi les territoires selon des densités variables pour les pays considérés.

Si les retombées de leur exploitation sur le secteur économique sont évidentes, les impacts qu'elles peuvent avoir sur l'environnement sont multiples. Ainsi, aujourd'hui encore, les activités d'extraction impactent de manière très importante l'environnement entraînant des altérations physiques (eau, air, etc.) via des pollutions (sonores, vibrations, poussières, etc.) et des destructions de tout ou d'une partie de la biodiversité (paysages, habitats, flore, faune, etc.). Elles altèrent et dégradent également le compartiment sol en modifiant non seulement ses composantes physiques (topographie, texture, structure) mais aussi ses fonctions en lien avec ses caractéristiques chimiques et biologiques (communautés fongiques et microbiennes, pédofaune du sol, etc.). L'exploitation de carrières à ciel ouvert, peut donc entraîner la destruction totale de toutes les biocénoses des surfaces exploitées (Richer de Forges & Pascal, 2008). Aujourd'hui, de nombreux pays ont donc mis en place une législation imposant aux sociétés minières de mettre en œuvre une restauration écologique après arrêt de l'exploitation (European Parliament, 2014).

L'écosystème «carrière» représente un type particulier de milieu ayant subi une pression d'excavation importante et soutenue dans le temps (Khater, 2004). Techniquement, les opérations d'excavation débutent par une suppression du couvert végétal, suivie par un passage de bulldozers qui dénudent au fur et à mesure le substrat dans le but de mettre la roche mère à jour et qui sur leurs passages enlève la couche la plus superficielle qui est le sol pédologique 'Top soil'. L'étape suivante consiste à sillonner la pente mise à nu en y créant des chemins qui serviront à creuser des galeries dans la roche et où, ultérieurement, seront posées les charges explosives utilisées pour le fractionnement et le concassage des roches. Le recours aux explosifs et la nécessité d'espace de stockage du gravier résultent en la présence, dans la majorité des carrières, d'un front de taille (falaise) de hauteur variable (10 à 40 m), d'un carreau d'exploitation (plateforme) de superficie allant de 10 à 50 ha et



d'une multitude de remblais résultant soit des dépôts allochtones ramenés par les camions soit des érosions des sols environnants (Khater, 2004).

Ces dégradations sont particulièrement exacerbées dans le bassin Méditerranéen dont les écosystèmes sont reconnus comme étant plus fragiles que dans le reste de l'Europe, notamment du fait des conditions climatiques (sécheresse estivale récurrente, faiblesse et irrégularité de la pluviométrie annuelle et interannuelle, vents violents, forte insolation etc.), pédologiques (sols fossiles ou peu profonds, peu riches en éléments minéraux et en matières organiques, reliefs tourmentés, etc.) mais également de l'ancienneté des perturbations humaines (nombreuses carrières exploitées dès l'époque Antique puis reprises à travers le temps, interactions avec les régimes récurrents d'incendies et de surpâturage, dépôts de remblais multiples, etc.) et de leur important accroissement actuel occasionnant l'inclusion des carrières au sein de l'espace péri-urbain et urbain suite à l'explosion de l'occupation humaine sur tout le pourtour méditerranéen (Blondel *et al.*, 2010).

D'un point de vue écologique, une carrière abandonnée va établir en tant que milieu neuf des relations d'échanges avec les écosystèmes avoisinants qui vont jouer le rôle de réservoir d'espèces végétales (ou animales) potentielles pour la recolonisation. La cicatrisation naturelle est généralement longue et dépend principalement de la disponibilité, l'accessibilité et l'adaptabilité des espèces présentes dans ces écosystèmes environnants aux conditions locales dans les carrières (MacMahon 1987; Bradshaw 2000). Ces dynamiques naturelles nécessitent cependant des temps longs (plusieurs siècles) et peuvent quelquefois ne pas aboutir à rétablir des écosystèmes autosuffisants au niveau fonctionnel et structurel (Khater, 2004).

Pour compenser les impacts du développement des sociétés comprenant l'exploitation des carrières, des opérations de restauration écologique ont donc été mises en place dès les années 1930 et constituent aujourd'hui un complément aux politiques de protection et de conservation des espaces naturels. Une discipline scientifique s'est ainsi développée au sein des sciences de la conservation: l'écologie de la restauration. Cette discipline scientifique, les politiques et la pratique de la restauration écologique sont aujourd'hui reconnues comme une priorité mondiale.



## Contexte de l'exploitation des carrières au Liban

De par son histoire, sa situation géographique et économique, caractérisée par une pression anthropique importante, des conditions climatiques et édaphiques particulières et la présence de nombreux écosystèmes dégradés, le Liban représente un bon exemple des problématiques de restauration de carrières dans le bassin méditerranéen (Khater, 2015).

Le contexte sociopolitique instable qui y a prévalu au cours de trois dernières décennies a eu pour conséquences directes une dispersion de l'habitat et une conurbation qui a rapidement progressé le long des axes principaux de circulation. Pour pallier une croissance démographique et urbaine incontrôlée, l'ouverture de carrières exploitées au coup par coup et au gré des disponibilités financières, du clientélisme politique, l'exploitation sauvage et illégale de ce secteur ont résulté en un gaspillage des ressources et une destruction des sites naturels (Khater, 2004). Exploitations de type le plus souvent familial, les carrières d'extraction du gravier et des pierres de taille ont suivi dans leur développement l'expansion urbaine qui a caractérisé la côte libanaise au début des années 60 et s'est étendue progressivement vers le Mont Liban et le Kesrouan (Cauchetier et al., 1999). Un rapport officiel recense en 1996, 710 carrières réparties sur l'ensemble du territoire, soit 1 carrière / 14.7 Km<sup>2</sup> (Handasah, 1996) alors que des chiffres non officiels de 2005 dénombrent jusqu'à 1 800 exploitations sur le territoire (Darwish et al., 2011) et des chiffres plus récents non encore confirmés officiellement relatent la présence de 2400 carrières couvrant une superficie totale de 52 millions de m<sup>2</sup> soit 52 000 ha (Atallah, 2018). De plus, il faut noter qu'un grand nombre de sites sont exploités pour leurs ressources en sable et graviers, sous le prétexte de projets fonciers ou immobiliers. Les impacts de ces petites et moyennes exploitations viennent s'ajouter à celui des nombreuses carrières illégales.

Dans un souci d'organisation et de régularisation de ce secteur, le Ministère de l'Environnement institué en 1992, a promulgué en 1997 un arrêté administratif visant à arrêter les exploitations en ne délivrant que dans certains cas, des permis spéciaux d'exploitation de durée limitée. Le décret 8803/ 2002 impose la remise en état (réhabilitation) des sites moyennant le dépôt d'une garantie bancaire auprès des autorités gouvernementales (Ministère de l'Environnement). Le Schéma Directeur d'Aménagement du Territoire Libanais (SDATL, 2004) délimite les régions où l'exploitation de carrières est autorisée. En 2019, une mise à jour pour réguler le secteur de l'exploitation et réhabilitation des carrières est en cours au Ministère de l'Environnement du Liban (**Annexe**).

## Contexte de l'exploitation des carrières en France

En France, une grande variété de granulats peut être exploitée en lien avec la diversité géologique du sous-sol français (MEDDTL & MIEEN, 2012). En 2015, la France comptait ainsi 2 760 établissements exploitant du granulat pour 1611 entreprises soit 327,6 millions de tonnes de granulats produites que ce soit en roches massives (roches calcaires ou éruptives représentant 56,29 % de la production), des roches meubles (alluvionnaires ou granulats marins représentant 35,99 % dont 28,75% de granulats alluvionnaires) ou encore en matériaux issus du recyclage comme les matériaux de démolition qui ne représentent cependant encore que 7,72 % de la production totale (UNICEM, 2017).

Les granulats représentent donc la deuxième ressource naturelle la plus consommée après l'eau, avec en moyenne 5,1 tonnes de granulats consommés par habitant sur le territoire français pour l'année 2015 (UNICEM, 2017). Ils sont principalement utilisés dans le cadre du génie civil et des infrastructures (79%) ou dans le domaine du bâtiment (21%) (UNICEM, 2017).

Depuis le 4 janvier 1993, les carrières sont considérées comme des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), elles doivent faire l'objet d'une remise en état qui est soumise à une garantie financière au profit de l'Etat que l'exploitant doit contracter auprès d'une banque ou d'une compagnie d'assurances. Introduite en droit français dans la loi relative à la protection de la nature du 10 juillet 1976, puis consolidée suite à la parution des lois Grenelle I et II (2009, 2010) et la loi dite «biodiversité» de 2016, la séquence «Eviter – Réduire – Compenser» se décline dans tout projet, plan ou programme susceptible de porter atteinte à la biodiversité. Appliquée aux projets, la séquence ERC peut être intégrée à différentes procédures (autorisation environnementale au titre des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement\*), dérogation à la protection des espèces, dossiers loi sur l'eau, évaluation d'incidence Natura 2000, etc.), toujours suivant cette hiérarchie où, à partir des impacts bruts potentiels évalués sur la base de l'état initial d'un site:

- les mesures d'évitement modifient le projet afin de supprimer totalement le tout ou une partie des impacts bruts potentiels;
- les mesures de réduction permettent de limiter les impacts résiduels qui subsisteraient aux mesures d'évitement;
- les mesures compensatoires apportent des gains écologiques sur le site de compensation qui contrebalancent les impacts résiduels significatifs qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits. Lorsque des mesures compensatoires sont nécessaires, celles-ci doivent respecter un certain nombre de principes réglementaires, notamment:

- Être effectives durant toute la durée des impacts (L 163-1 du Code de l'environnement);
- Être réalisées à proximité du site impacté, voire sur le site lorsque cela est possible (L 163-1);
- Être écologiquement équivalentes en quantité et en qualité afin d'atteindre l'objectif de non-perte-nette voire de gain net de biodiversité (L 110-1 et L 163-1).

Le non-respect de ces principes et de la hiérarchie entre les mesures d'évitement, de réduction et de compensation peut justifier le refus d'autorisation du projet en l'état.

Dans le cas de l'exploitation de carrières, ces éléments prennent une importance particulière

en raison de la nature et de la durée des impacts susceptibles d'être concernés par la séquence ERC.

Outre l'encadrement particulier des ICPE, des éléments de la séquence ERC peuvent être intégrés au travers des différents documents qui encadrent et planifient les activités des carrières (Arrêtés ministériels de prescription générale, Schéma Régionaux des Carrières, etc.). Mais une attention, particulièrement, doit être portée à la transcription locale des mesures ERC sur les carrières en raison des contraintes spatiales et temporelles particulières qui s'y imposent. Parfois organisée en plusieurs phases, l'exploitation d'une carrière présente cette particularité d'être par nature temporaire et susceptible d'entraîner des perturbations favorisant l'expression d'une biodiversité spécifique à ces nouveaux milieux générés (fronts de taille, milieux pionniers, dépressions humides, etc.). Dès lors, ces opportunités doivent être considérées dans l'application de la séquence ERC à ces activités, avec l'objectif de proposer des remises en état à vocation environnementale, voire des réaménagements visant un gain net de biodiversité par rapport à l'état initial du site, en préservant si possible les nouveaux éléments de biodiversité favorisés au cours du cycle de vie de la carrière.

\* ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains est une installation classée. Les carrières sont soumises au Code de l'environnement, et appartiennent aux ICPE.

Leur exploitation est ainsi soumise à une déclaration ou à une autorisation du préfet, selon les dangers qu'elle implique. L'autorisation d'exploitation doit obligatoirement respecter le Schéma départemental des carrières (article L515-3 du Code de l'environnement) et doit donner lieu à une enquête publique. L'autorisation (ou l'enregistrement) accordé par le préfet ne peut être délivrée pour plus de 30 ans, mais reste renouvelable (article L515-1 du Code de l'environnement).

L'exploitant s'engage également à respecter «les contraintes et les obligations nécessaires à la bonne utilisation du gisement et à sa conservation» (article L515-4-1 du Code de l'environnement) ainsi qu'à remettre en état le site, comme l'exige la réglementation des ICPE. Dans le cas contraire, il pourrait se voir refuser une nouvelle autorisation (article L515-4 du Code de l'environnement).

La législation des installations classées confère à l'Etat des pouvoirs:

- d'autorisation ou de refus d'autorisation de fonctionnement d'une installation;
- de réglementation (imposer le respect de certaines dispositions techniques, autoriser ou refuser le fonctionnement d'une installation);
- de contrôle;
- de sanction.

Sous l'autorité du Préfet, ces opérations sont confiées à l'Inspection des Installations Classées qui sont des agents assermentés de l'Etat.



## Contexte de l'exploitation des carrières au Maroc

Au Maroc, la priorité donnée à la politique nationale des grands chantiers et infrastructures et l'importance du secteur de la construction dans l'économie nationale rendent l'activité d'exploitation des carrières, à travers le pourvoi des besoins en matériaux, critique pour le développement socio-économique du pays. L'impact de l'exploitation des carrières sur ces différentes dimensions reste difficile à mesurer. Le secteur ne dispose pas, en effet, de statistiques détaillées en termes de bilan économique et éthique (chiffres d'affaire, rendement, recettes fiscales, nombre d'entreprises et type d'actionariat, part de l'informel...), social (créations d'emplois, affiliations CNSS...) et environnemental (état des carrières, nombre d'incidents et autres nuisances environnementales...) (CESE, 2014). Selon cette dernière source, la production, estimée à près de 120 millions de m<sup>3</sup> par an, est essentiellement composée de gravette (34%- granulats, mélange de sable et de gravillons), marbre (15%), tout venant (11%- mélange de sable et gravier extrait sans triage), sable de concassage (8%), sable de dune (7%) et argiles (7%). Cette production permet d'approvisionner la filière de la construction, soit sous forme d'intrants directs sous forme de sables, granulats, tout venants, ballastes..., soit sous forme de produits des industries des matériaux et de construction: cimentiers, briquetiers, bétonniers, fabricants de carreaux...

Par ailleurs, toute une panoplie de dispositions réglementaires existe donc, notamment:

- Dahir du 25 août 1914 (3 chaoual 1332) portant sur la réglementation des établissements insalubres, incommodes ou dangereux, tel qu'il a été modifié et complété par les dahirs des 13 octobre 1933, 11 août 1937, 9 juin 1938, 9 novembre 1942 et 18 janvier 1950;
- Circulaire n°87 du 8 juin 1994 conjointe entre le Ministère de l'Intérieur, le Ministère de l'Équipement et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Agricole;
- Dahir n°1-02-130 du 1er rabi II 11 1423 (13 juin 2002) portant promulgation de la loi n° 08-01 relative à l'exploitation des carrières;
- La circulaire du Premier Ministre n° 6/2010 du 14 juin 2010;
- Dahir n° 1-03-194 du 14 rajab 1423 (11 septembre 2003) portant promulgation de la loi n° 65- 99 relative au Code du Travail;
- La loi n°27-13 relative à l'exploitation des carrières promulguée en 2015.

Selon les dispositions de ce cette nouvelle loi sur les carrières et de ses arrêtés d'application, le cadre administratif a été bien maîtrisé. En effet, l'ouverture d'une carrière est soumise à une déclaration préalable d'exploitation auprès de l'administration qui délivre le récépissé de déclaration correspondant. L'exploitant suppose donc une maîtrise foncière qui résulte soit d'un droit de propriété, soit d'un acte portant la signature légalisée du propriétaire du sol, l'habilitant expressément à exploiter la carrière pendant une durée déterminée. Si la carrière est située dans le domaine public, le domaine forestier, le domaine des collectivités ethniques, le domaine hydraulique ou le domaine militaire, l'exploitant doit disposer d'une autorisation l'habilitant clairement à exploiter la carrière ou à réaliser des travaux d'échantillonnage. Cette autorisation doit être délivrée par l'administration compétente ou l'établissement public chargé de la gestion des domaines précités.

La procédure administrative d'ouverture et de fermeture d'une carrière est définie par la

Circulaire du Premier Ministre n°6-2010 du 14 juin 2010 qui suit plusieurs étapes:

- Le pétitionnaire dépose auprès de la Direction Provinciale de l'équipement et du transport du lieu de la carrière, les documents énumérés par la Circulaire du Premier Ministre n°6-2010 du 14 juin 2010;
- Le dossier est examiné par la Direction Provinciale de l'équipement et du transport;
- Un rapport technique sur le dossier est établi par la Direction Provinciale de l'équipement et du transport. Ce rapport est ensuite présenté à la commission régionale des carrières pour examen et validation dans un délai de 20 jours;
- Dépassé ce délai, la Direction Provinciale de l'équipement et du transport prépare un rapport sur le dossier comportant un résumé des remarques et avis reçus. Le rapport est transféré au Wali ou le Gouverneur de la préfecture ou de la province du lieu du projet et demande la convocation de la commission provinciale des carrières;
- Sur la base de l'avis de la commission provinciale, la Direction Provinciale de l'équipement et du transport délivre au pétitionnaire, en cas d'acceptation, l'autorisation d'exploitation accompagnée du cahier des charges et des clauses à respecter, ou un avis défavorable justifié en cas de non autorisation;
- Les carrières sont contrôlées durant l'exploitation par une commission nationale, une commission provinciale des carrières et des équipes provinciales de contrôle. Ces commissions veillent sur le respect de la réglementation, la vérification de l'état des carrières, le suivi des indices nationaux des demandes du marché et l'élaboration des rapports d'état.

Selon la nouvelle loi 27-13, la durée maximale d'exploitation est fixée à 20 ans pour les carrières à ciel ouvert et les carrières souterraines, et peut atteindre 30 ans si l'exploitation est associée à une industrie de transformation dont l'investissement dépasse quarante millions de dirhams. Cette industrie est une action limitée dans le temps ayant des impacts à long terme touchant l'air, le sol, l'eau, la faune et la flore.

En plus, plusieurs lois, dahirs et décrets sont dédiés à la protection de l'environnement et concernent notamment les carrières en termes d'activités, réhabilitation, et restauration.

## IV. Ecologie de la restauration et restauration écologique



## Ecologie de la restauration et restauration écologique

En milieu méditerranéen contraint par les aléas et les conditions climatiques, mais aussi par une pression anthropique de plus en plus accrue sur les milieux naturels ; comprendre les dynamiques naturelles est loin d'être un luxe scientifique. C'est une nécessité pour orienter convenablement les actions de restauration et/ou d'ingénierie écologique (Khater, 2015).

Laissé à lui-même, après l'arrêt des activités de dégradation ou de la pression de perturbation, un écosystème est-il capable de retrouver seul un état d'équilibre fonctionnel ? Les dynamiques naturelles sont-elles suffisantes pour lui permettre de retrouver sa résilience ou du moins une certaine résilience ?

Sur certains sites, et même longtemps après l'arrêt des perturbations humaines, les dynamiques naturelles restent cependant timides et insuffisantes à repositionner l'écosystème sur sa trajectoire de restauration spontanée (Khater, 2004).

A l'origine de la discipline de la restauration écologique se trouve une conscience collective de plus en plus marquée sur l'importance des espèces et le besoin de les conserver et de préserver les processus qui sous-tendent leur existence et leurs habitats. L'écologie de la conservation reste pour beaucoup une science de crise ou une science de gestion des crises et pourtant elle a été à l'origine des principales stratégies internationales de protection de la nature, de l'ONU et l'UNESCO, au point de se retrouver mentionnée dans la Convention pour la Biodiversité. Qu'il s'agisse de conserver des espèces, ou plus globalement des processus écologiques, des habitats ou des paysages, l'écologie de la conservation s'impose progressivement dans un panorama de plus en plus complexe. Les initiatives se multiplient mais se heurtent par moments et par endroits aux conséquences du développement humain. Alors que des mesures de «remise en état» des milieux s'imposent, au même titre qu'une science encadrant ces principes, l'écologie de la restauration apparaît dès 1993 (Blondel, 1995).

Si l'écologie est une science qui s'intéresse aux interactions entre les êtres vivants et avec leur milieu de vie mais aussi et surtout aux écosystèmes et à leurs fonctionnements, l'écologie de la restauration concerne plus les problèmes des écosystèmes dégradés en vue d'orienter les interventions à mettre en œuvre pour leur «remise en état» ou réinitialisation des dynamiques naturelles. Les débats scientifiques récents en écologie de la restauration ont porté sur les concepts et les notions à prendre en considération dans la conception d'un projet de restauration. En réponse à la question visant à savoir si plus d'écologie est nécessaire pour restaurer efficacement les écosystèmes méditerranéens, (Khater, 2015), propose de viser un compromis, une conciliation entre l'écologiquement compatible, le socialement acceptable et le techniquement réaliste (au vu des ressources financières, humaines, moyens techniques et technologiques et du temps).

Il s'agit surtout de trouver des modes d'intervention sur le terrain qui répondent ou du moins ne contredisent pas les principes écologiques, qui émanent et qui ne s'opposent pas à la demande sociale. Dans les aspects techniques, sont inclus les aspects financiers de mise en œuvre qui constituent la dimension la plus contraignante d'un projet.

La restauration écologique est ainsi définie par la Société Internationale d'Ecologie de la Restauration



(Society for Ecological Restoration International – SER) comme étant «le processus d’assistance à la récupération d’un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit» (SER, 2004). Cette définition reconnaît donc la capacité intrinsèque des écosystèmes, même altérés, dégradés ou détruits, à posséder une certaine résilience naturelle sans pour autant en préciser les cadres spatiaux et temporels. La résilience d’un écosystème est ainsi définie comme sa capacité à se réorganiser après avoir subi une perturbation naturelle ou anthropique tout en conservant une fonction, une structure et des boucles de rétroaction similaires (Suding & Hobbs, 2009). Un écosystème résilient va donc rapidement retrouver un fonctionnement équilibré après perturbation, proche de l’état préalable à la perturbation. Si la perturbation est trop importante, et donc en dehors des régimes de perturbations avec lequel l’écosystème a co-évolué historiquement, elle peut le faire bifurquer vers un autre état alternatif ou une autre trajectoire. On ne parle alors plus de résilience de l’écosystème mais de régénération, celle-ci pouvant être en effet sans lien avec les caractéristiques de l’écosystème qui préexistait. Au final, sur le long terme, la restauration écologique devrait donc permettre de préserver la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes restaurés mais aussi leur résilience et leur capacité d’adaptation aux changements environnementaux futurs.

De nombreux travaux de recherches, colloques internationaux et numéros spéciaux de revues scientifiques ont déjà été consacrés à la restauration écologique de carrières et de nombreux exploitants de carrières, avaient déjà réalisé préalablement des actions de réhabilitation et de remise en état sans attendre les conclusions des travaux scientifiques consacrés à la restauration écologique (Damigos & Kaliampakos, 2003; Carrick & Krüger, 2007). Par rapport à la restauration, la réhabilitation vise à réparer seulement un ou plusieurs attributs, processus ou services d’un écosystème. La remise en état, consiste, quant à elle, à stabiliser les terres et assurer les garanties de sécurité publique, l’amélioration esthétique et généralement, un retour de l’écosystème utile dans le contexte régional (SER, Science & Policy Working Group, 2004). Les nombreuses expériences scientifiques déjà menées dans le monde entier témoignent de la variété des techniques de réhabilitation des carrières utilisées et, face à la diversité des anciens types d’exploitation, des contextes biogéographiques régionaux et locaux et des objectifs propres à chacun des projets, aucune conclusion définitive ne peut cependant encore être faite quant à une généralisation systématique de certaines techniques (transfert de sol, création de technosols, plantations, semis d’espèces nurses, etc.) ou à leur succès potentiel.





## **V. Les verrous scientifiques, technologiques et sociaux à la mise en œuvre de la restauration écologique**

## Les verrous scientifiques, technologiques et sociaux à la mise en œuvre de la restauration écologique

Une revue des publications scientifiques (Khater *et al.*, 2003; Van Diggelen & Marrs, 2003; Khater & Martin, 2007; Walker & Del Moral, 2008; Darwish *et al.*, 2011; Phillips, 2012; Oldfield *et al.*, 2013; Sebastian *et al.*, 2015; Prach & Tolvanen, 2016; Bulot *et al.*, 2017), et des ouvrages techniques (Correia *et al.*, 1970; Williamson *et al.*, 1998; WBCSD, 2011; Pamba, 2014) ayant trait à la restauration écologique, révèlent le manque de transfert des méthodes et outils des scientifiques aux décideurs et acteurs de la restauration (ingénieurs, techniciens).

Sur le plan de la recherche en écologie fondamentale, malgré la prise en compte de plus en plus de paramètres permettant une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes, nous sommes encore loin d'appréhender la compréhension globale de ces systèmes naturels très complexes afin d'être en mesure d'intervenir de la façon la plus efficace pour accélérer et orienter les processus naturels.

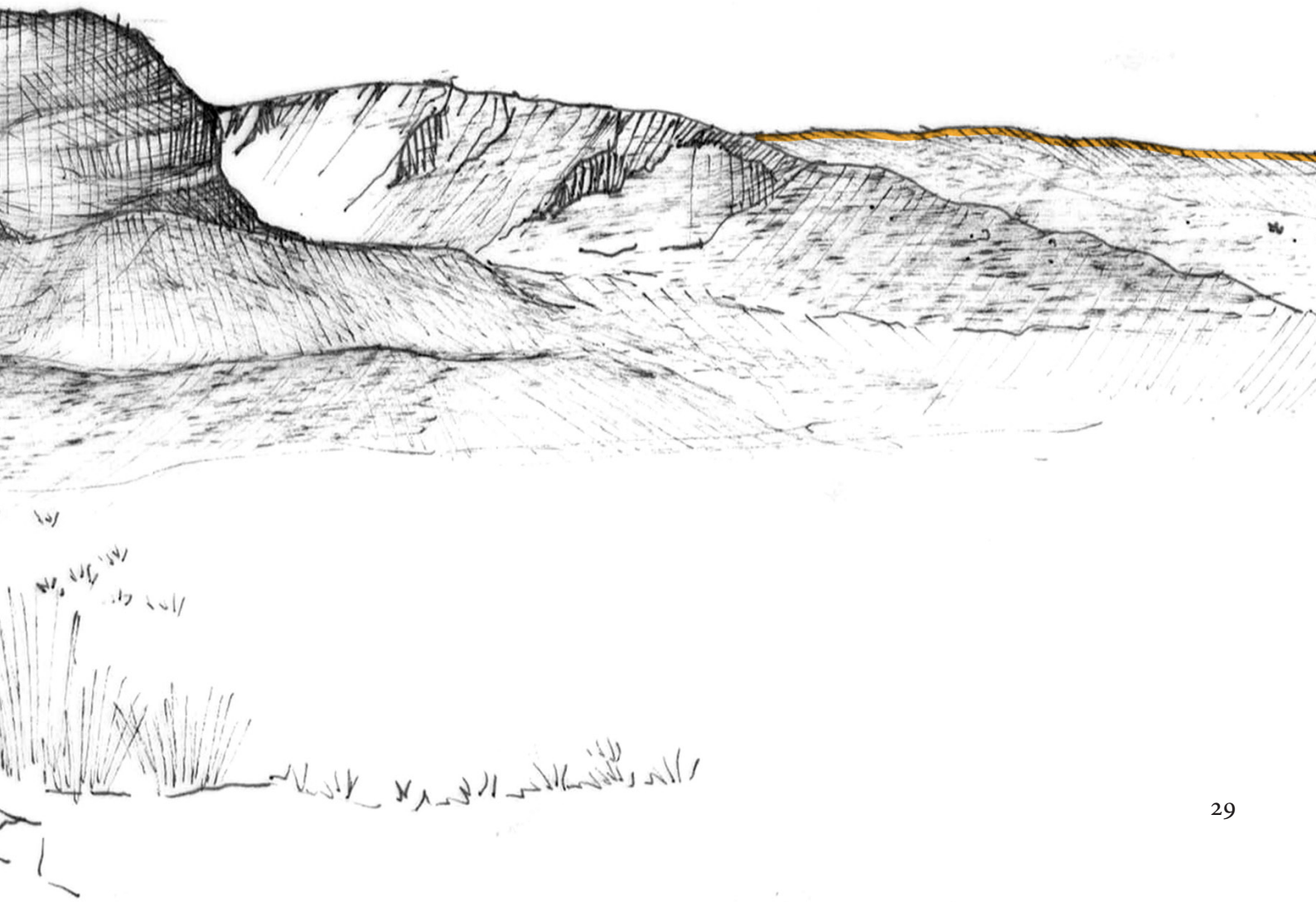
Sur le plan technologique, les avancées en génie écologique permettent une maîtrise et un transfert de compétences qui restent encore limités et contraints par les capacités des engins de travaux publics en génie civil ou les capacités des «ingénieurs des écosystèmes» en ingénierie écologique (espèces nurses, facilitatrices, etc.).

Il n'en reste pas moins que les dimensions sociales semblent constituer le verrou principal à la mise en œuvre des projets de restauration écologique (Jacobson *et al.*, 2004; Weerts & Sandmann, 2008; Khater, 2015). Il s'agit dans ce cas des aspects fonciers, permission d'accès sur le terrain, conflits d'usage, résistance cognitive au changement ainsi que tous les aspects interpersonnels qui souvent se retrouvent au carrefour entre la conception d'un projet et son exécution (Khater *et al.*, 2012).

Fenianos *et al.*, (2017) abordent la notion de “*stakeholder bottle neck*” (Figure 1) pour désigner les nœuds incontournables du processus décisionnel et la nécessité d'optimiser la présentation du projet pour mieux garantir son acceptation.



# VI. Fiches Techniques



## Fiches Techniques

Les fiches techniques sont présentées ci-après par ordre alphabétique du dernier auteur comme suit:

1. **Restauration et succession écologiques des prairies montagnardes de Haute-Durance après perturbation du sol**
2. **Réhabiliter ou laisser faire la nature dans les carrières alluvionnaires sèches méditerranéennes**
3. **Essai de restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par transfert de plaques de sol**
4. **Restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par création de technosols**
5. **Restauration d'une pelouse méditerranéenne par transfert de sol en vrac avec respect de l'organisation des horizons pédologiques**
6. **Réaménagement écologique des sites miniers dans la région de Milos - Grèce**
7. **Phytoremédiation des déchets miniers et des sols contaminés:  
Carrières minières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc**
8. **L'enjeu des suivis de biodiversité dans le cadre de la restauration des mines et carrières.  
Exemple de l'Indicateur de Qualité Ecologique (IQE)**
9. **Réhabiliter des perceptions pour mieux restaurer des écosystèmes**
10. **De l'approfondissement des connaissances bio-écologiques d'une espèce protégée à sa conservation: le cas de l'Hélianthème à feuilles de Marum (*Helianthemum marifolium* Mill., 1768)**
11. **Les carrières abandonnées face à la problématique des déchets en zones rurales: Cas des carrières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc**
12. **Réhabilitation en Damier**
13. **La géomatique au service de la réhabilitation des carrières: Cas des carrières abandonnées d'Akreuch, Rabat - Maroc**
14. **Phytostabilisation des décharges en carrières après réhabilitation**
15. **Contexte de l'exploitation des carrières au Liban**

# 1. Restauration et succession écologiques des prairies montagnardes de Haute-Durance après perturbation du sol

Aure Durbecq<sup>1,2</sup>, Renaud Jaunatre<sup>3</sup>, Elise Buisson<sup>1</sup>, Alexandre Cluchier<sup>2</sup>, Sophie Duhautois<sup>2</sup>, Alice Dupre La Tour<sup>3</sup>, Armin Bischoff<sup>1</sup>

## Site

La zone d'étude se situe dans la vallée de la Haute-Durance, dans le département des Hautes-Alpes, en France. Elle s'étend sur plus de 100 km, du Briançonnais (commune de L'Argentière-la-Bessée) au Gapençais (commune de La-Batie-Neuve) en passant par l'Embrunais. Les pistes et plateformes d'accès à restaurer se situent entre 1000 et 1400 mètres d'altitude, sur l'étage montagnard atteignant localement l'étage subalpin inférieur, sur pentes modérées bien exposées et bien drainées, sur sol principalement carbonaté et caillouteux.



Les zones ouvertes remaniées par les travaux concernent des pelouses et prairies de type semi-naturelles riches en espèces, sèches à mésophiles, et sont associées aux habitats suivants:

- Pelouses sèches (E1) et Prairies mésiques (E2), typologie EUNIS (Louvel *et al.* 2013)
- Habitat 6210: Alliance Mésobromion des pelouses sèches semi-naturelles et faciès d'embouissement sur calcaires (*Festuco-brometalia*) [\*Sites d'orchidées remarquables], Cahiers d'Habitat Natura 2000.

## Objectifs

- Restauration écologique des milieux ouverts de Haute-Durance remaniés par des travaux de terrassement;
- Révégétalisation des plateformes de travail et des pistes d'accès transitoires;

1. Aix Marseille Univ., Avignon Univ., CNRS, IRD, IMBE, Avignon, France.

2. Bureau d'étude ECO-MED, Marseille, France.

3. Université Grenoble Alpes, Irstea UR LESSEM, St-Martin-d'Hères, France.

## Principe

Afin de définir les objectifs de restauration et les moyens d'évaluer le succès des efforts de la restauration, (1) l'identification de la communauté de référence et des populations sources pour la récolte des propagules est essentielle. Compte tenu des conditions pédoclimatiques du milieu, (2) une technique de travail du sol (préparation du lit de semences et suppression des adventices) et (3) différentes modalités de transfert de propagules seront testées. (4) L'ordre d'installation des espèces, l'évolution de la structure de la communauté, et, par conséquent, la trajectoire de la restauration, seront analysés. Pour limiter la colonisation par des espèces non-cibles et optimiser l'installation des espèces de prairie (5) l'effet d'une gestion par pâturage sera évalué.

## Recommandé pour

- Restauration écologique de systèmes prairiaux;
- Restauration écologique en milieu montagnard;
- Restauration écologique par transfert de foin et «fleur de foin» (brossage et aspiration des inflorescences, tri grossier des parties végétatives vs fruits);
- Revégétalisation
- Restauration avec gestion par pâturage.

## Limitations

- Transfert de foin limité aux communautés végétales herbacées;
- Pente importante peut nécessiter une fixation du matériel transféré (via géotextile ou hydrosemis par exemple);
- Maturation différée des espèces cibles qui complique la récolte par une seule fauche;
- Faible germination dans des milieux très caillouteux;
- Sécheresse estivale augmente la mortalité.

## Conditions d'applications

- Montée en graines des espèces de la communauté source;
- Compactage à l'aide d'un rouleau après l'épandage pour un meilleur contact graines/sol et éviter pour les pertes par érosion, ruissellement;
- Humidité suffisante après l'épandage;
- Sol nu ou végétation en place pas trop compétitive (effet à tester dans le projet);
- Mise en place d'exclos adaptés (pâturage ovin, bovin) au début de la revégétalisation (effet à tester dans le projet).



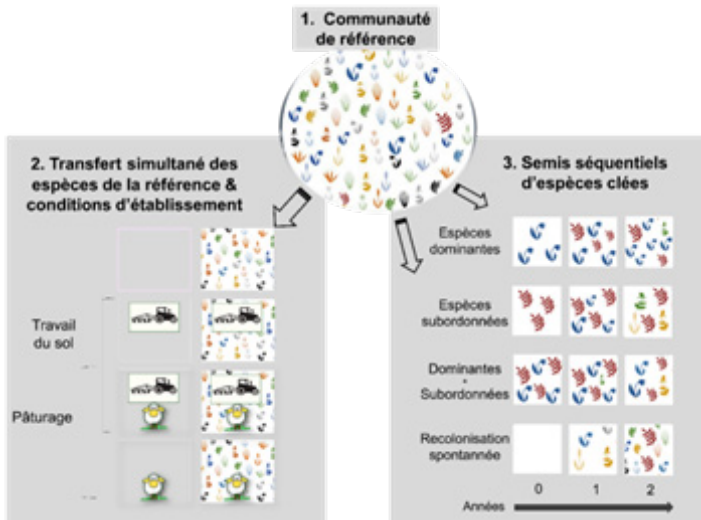


Schéma récapitulatif des expérimentations STP et EP

STP: «Sol, Transfert de graines, Pâturage» permettant de tester les traitements suivants: préparation d'un lit de semence; apport de graines; effet du pâturage.

EP: «Effet de Priorité» pour tester l'effet de semis séquentiels en semant des compositions différentes d'espèces cibles de la communauté de référence à différents temps.



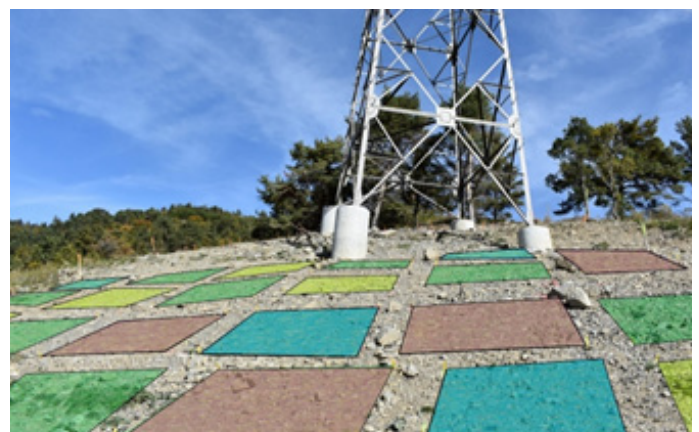
Préparation du lit de semence: hersage



Exclus bovin



Exclus ovin



Semis séquentiels

## Références

- Bischoff, A., Hoboy, S., Winter, N., Warthemann, G. (2018). Hay and seed transfer to re-establish rare grassland species and communities: how important are date and soil preparation? *Biological Conservation* 221, 182-189.
- Kiehl, K., Kirmer, A., Donath, T.W., Rasran, L., Hölzel, N. (2010). Species introduction in restoration projects - Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and North-Western Europe. *Basic Appl. Ecol.* 11, 285-299.
- Scotton, M., Kirmer, A. & Krautzer, B. (2012). *Practical Handbook for seed harvest and ecological restoration of species-rich grasslands.* Cleup Editore, Italy.
- Koch, E., Spiegelberger, T., Barrel, A., Bassignana, M. & Curtaz, A. (2015). *Les semences locales dans la restauration écologique en montagne.* Institut Agricole Régional, Rég. La Rochère, Aoste.

## 2. Réhabiliter ou laisser faire la nature dans les carrières alluvionnaires sèches méditerranéennes

Thierry Dutoit<sup>1</sup>, Julie Chenot<sup>1,2,3</sup>, Renaud Jaunatre<sup>1,2</sup>, Elise Buisson<sup>1</sup>, Pierre Bourguet<sup>3</sup>

Site



La carrière Fos-sur-Mer, plaine de la Crau, Sud-Est de la France (Photo Julie Chenot, IMBE)

Objectifs

- Fournir des éléments de réponses à la question: faut-il restaurer ou laisser faire la nature en comparant les écosystèmes historiques et les écosystèmes laissés en restauration passive.

Principe

- Comparaison des compositions, richesses, structures et turn-over des espèces végétales de la pelouse sèche qui préexistait avant l'exploitation et des nouvelles combinaisons d'espèces à partir des analyses de la végétation dans des quadrats (5 quadrats de 4m<sup>2</sup>) espacés au minimum de 10 m le long de transects de 100 m matérialisés dans 6 différentes végétations installées 30 années après l'arrêt d'exploitation de diverses carrières réhabilitées (transfert de sol), sans réhabilitation ou encore avec dépôts de divers types de déblais en contact ou pas avec la nappe phréatique.

- Comparaison de l'organisation pédologique des sols qui préexistaient (Ferralsols leptiques tronqués) et des nouveaux types de sols présents après exploitation des carrières (technosols, sols artificiels reconstitués, etc.) à partir des analyses physico-chimiques et réalisation de profils de sols dans les différentes situations rencontrées

1. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE), Avignon Université, UMR CNRS IRD Aix Marseille Université, IUT site Agroparc, BP 61207, 84911 Avignon cedex 09, France.

2. Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR EMGR, 2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 St-Martin-d'Hères, France.

3. Société des Carrières de La Ménudelle, 13. BP 80011, 13551 Saint-Martin-de-Crau, France.



## Recommandé pour

Aide au choix entre restauration 1) active ou 2) passive (spontanée) 1) soit pour recréer l'écosystème de pelouse méditerranéenne qui préexistait avant l'exploitation ou 2) pour laisser s'exprimer de nouveaux écosystèmes qui présentent des combinaisons d'espèces et des trajectoires originales par rapport aux autres écosystèmes existant au niveau régional.

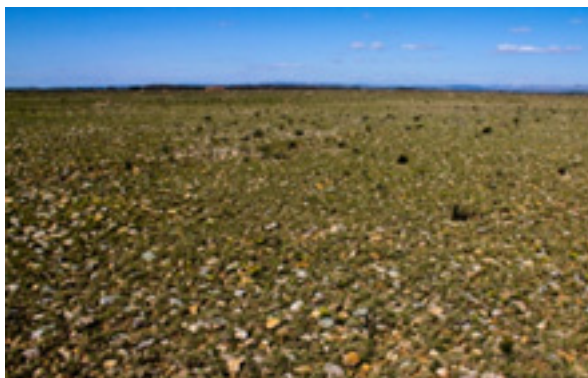
## Limitations

- Diagnostic a posteriori de choix anciens d'actions;
- Manque d'informations sur les raisons et modalités de mise en place des différentes actions menées dans les années 70-80 (réhabilitation par transfert de sol, mise en dépôt de remblais divers, aucune action, etc.)
- Même avec des informations concrètes récoltées sur les écosystèmes historiques et nouveaux écosystèmes, le choix n'est pas évident entre des attributs des écosystèmes parfois contradictoires: diversité versus patrimonialité – composition versus turnover – conservation versus naturalité, etc.

## Conditions d'applications

- Réalisation du diagnostic dans une zone présentant des situations contrastées de réaménagement ou d'abandons de carrières suite à un même type d'exploitation (carrières alluvionnaires sèches) dans une zone géographique présentant, avant exploitation, un écosystème historique homogène;
- Nécessité d'obtenir l'autorisation des différents propriétaires et exploitants pour accéder aux sites afin d'y faire les différents relevés botaniques, les profils de sol et les prélèvements de sol pour les analyses physico-chimiques;
- Balisage autour des profils de sol réalisés pour raison de sécurité.

## Configuration de la mise en œuvre



Ecosystème de référence, les pelouses sèches de la plaine de Crau (Bouches-du-Rhône, France) avant exploitation. (Photo Julie Chenot, IMBE)



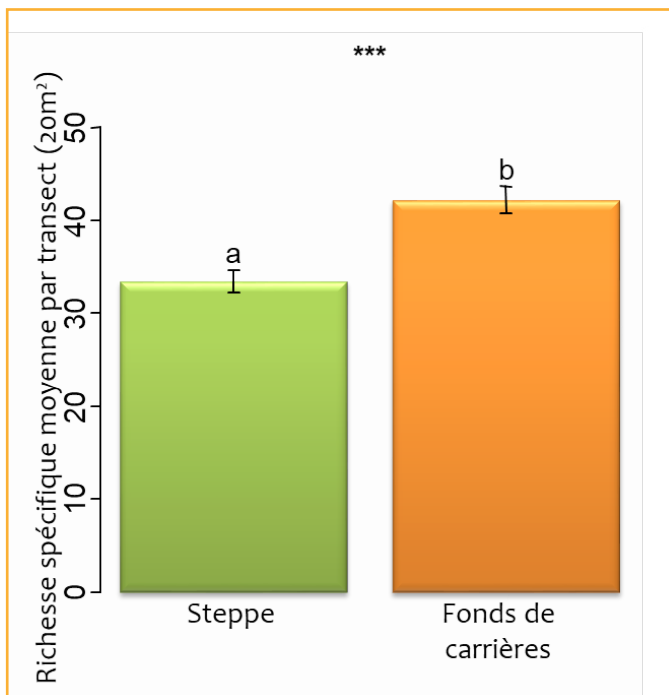
Nouveaux écosystèmes apparaissant après la fin d'exploitation dans les années 1970-80. (Photo Julie Chenot, IMBE)



Réalisation des inventaires botaniques dans les quadrats (Photo Julie Chenot, IMBE)



Réalisation des profils de sol dans un ancien fond de carrière abandonnée (Photo Julie Chenot, IMBE).



Nombre d'espèces présentes par transect dans la steppe de référence et dans les différents fonds de carrières (tiré de Chenot 2015).

**Points supplémentaires:** Relevés et profils de sol réalisés en 2015.



## Références

Chenot, J. (2015). Faut-il restaurer les écosystèmes? Le cas des carrières alluvionnaires de la plaine de Crau (Bouches-du-Rhône, France). Mémoire de Master 2. Muséum National d'Histoire Naturelle, UPMC, IMBE-Université d'Avignon.

Chenot, J. (2015-2018). Réhabilitation écologique d'écosystèmes dégradés par l'exploitation des carrières: faire avec, refaire ou laisser faire la nature? Thèse de Doctorat de l'université d'Avignon.

Chenot, J., Jaunatre, R., Buisson, E., Bureau, F., Dutoit, T. (2018). Impact of quarry exploitation and disuse on soil pedogenesis. CATENA 160: 354-365.

Chenot, J., Jaunatre, R. Buisson, E., Dutoit, T. (2017) Long-term effects of topsoil transfer assessed thirty years after rehabilitation of dry alluvial quarries in southeastern France. Ecological Engineering 99: 1-12

Dutoit, T., Chenot, J., Jaunatre, R., Buisson E. (2017). Restaurer ou laisser faire la nature? Le Courrier de la Nature 301: 41-45

### 3. Essai de restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par transfert de plaques de sol

Thierry Dutoit<sup>1</sup>, Renaud Jaunâtre<sup>1,2</sup>, Elise Buisson<sup>1</sup>, Pierre Bourguet<sup>3</sup>

Site



La carrière Saint-Martin de Crau, plaine de la Crau, Sud-Est de la France (Photo Gagneraud)

Objectifs

- Restauration de l'écosystème de référence (pelouse sèche méditerranéenne);
- Restauration de l'intégralité de la composition, richesse, structure spatiale et turn-over des espèces végétales de la pelouse sèche qui préexistait avant l'exploitation;
- Restauration de la composition et des fonctions de l'horizon supérieur organique du sol (20 premiers centimètres).

Principe

- Prélèvements de plaques de sol ( $3 \times 1,5 \times 0,20$ ) dans une pelouse méditerranéenne constituant l'écosystème de référence de la restauration car préexistant avant l'exploitation de la carrière;
- Transfert des plaques récoltées au chargeur immédiatement sur le site à restaurer après mises aux normes du sous-sol (infiltration, caractéristiques pédologiques);
- Regroupement de 5 plaques en bloc (> aire minimale de la végétation) dont était attendu un effet nucléus sur le voisinage du site;
- Dépose de sol en vrac entre les blocs de plaques;
- Inclinaison de la pelle du chargeur calculée pour éviter la cassure des plaques lors du prélèvement ou de la dépose.

1. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE), Avignon Université, UMR CNRS IRD Aix Marseille Université, IUT site Agroparc, BP 61207, 84911 Avignon cedex 09, France.

2. Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR EMGR, 2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 St-Martin-d'Hères, France.

3. Société des Carrières de La Ménudelle, 13. BP 80011, 13551 Saint-Martin-de-Crau, France.

## Recommandé pour

- Restauration d'écosystèmes de pelouses méditerranéennes si existence de reliques vouées à être détruites aux alentours de la carrière;
- Possibilité de faire le transfert rapidement au bon moment;
- Nécessité de restaurer rapidement la structure de la végétation de la pelouse au-delà de sa richesse et composition.

## Limitations

- La distance entre la zone de récolte des plaques doit être minimale ;
- Destruction totale du site donneur ;
- Pas d'effet nucleus observé après plusieurs années de suivi ;
- Coût élevé du transfert des plaques ;
- Technique non durable car impact sur écosystème de référence (prélèvement) et technique impliquant consommation de ressources non renouvelables (hydrocarbures) et pollution (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particules fines, etc.).

## Conditions d'applications

- Réalisation du transfert l'automne entre deux pluies pour maximiser la reprise de la végétation, notamment les herbacées pérennes;
- Besoin d'un chargeur;
- 1 personnel pour conduite chargeur et 1 personnel pour guider;
- Autorisation nécessaire pour la zone de prélèvements si elle se trouve sur une propriété différente de la carrière;
- Balisage préalable des zones de prélèvements, dépôts et itinéraires

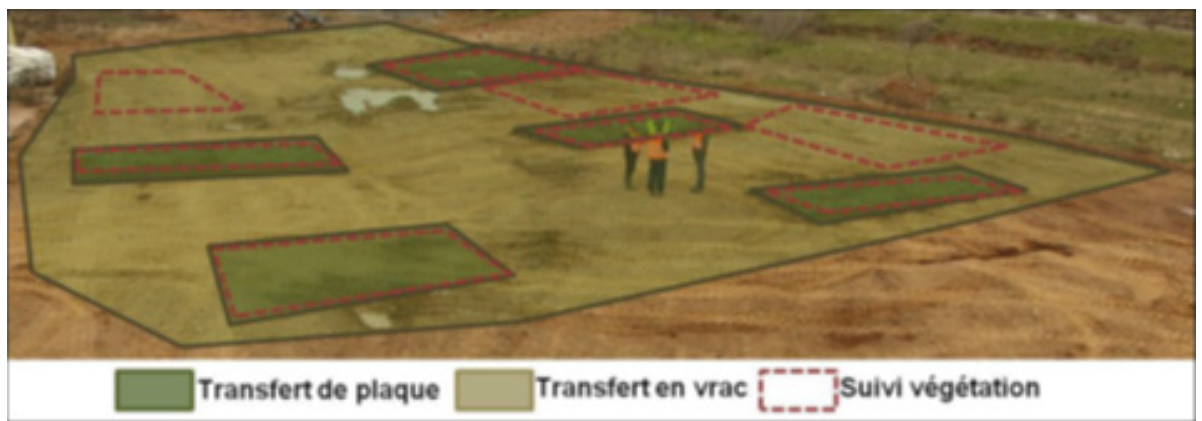
## Configuration de la mise en œuvre



Dispositif expérimental de récolte et de dépose des plaques de sol. Photo Renaud Jaunatre, IMBE)

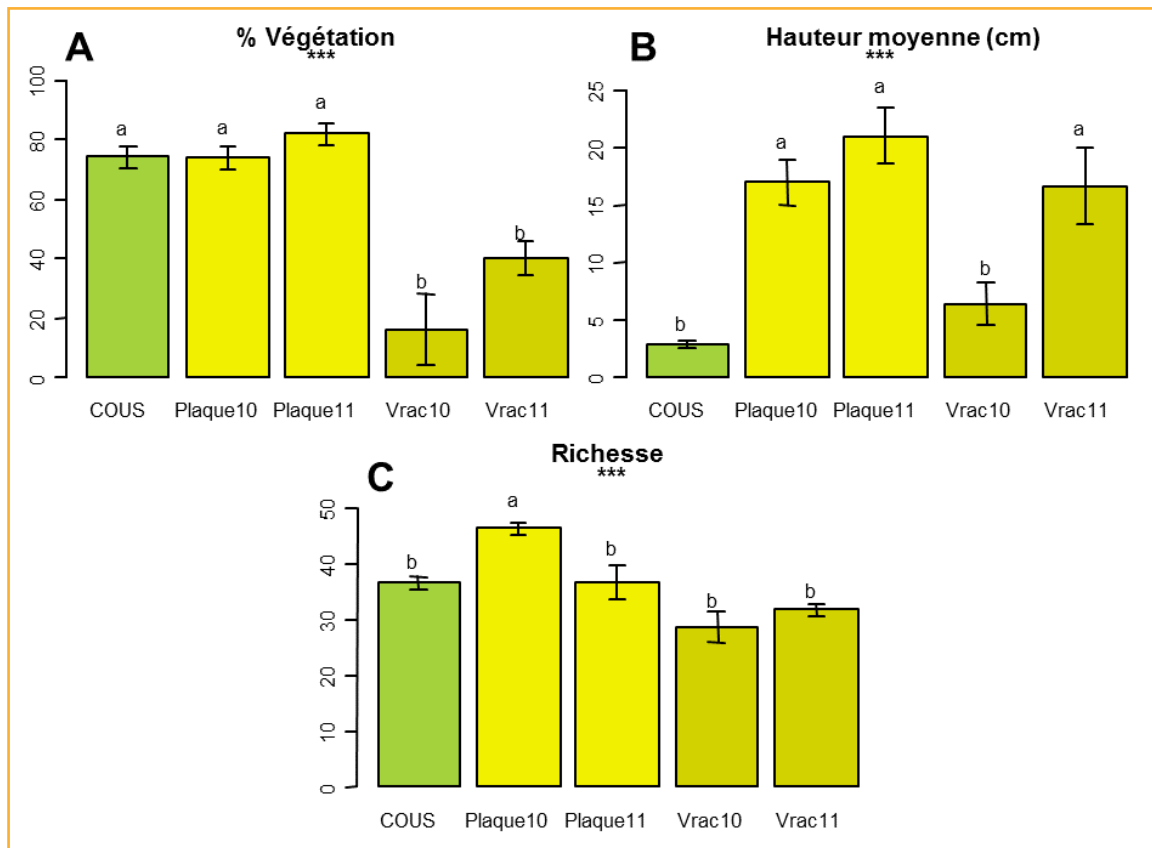


Localisation du site donneur (prélèvements des plaques) et du site receveur (dépose des plaques) sur la carrière SCLM dans la plaine de Crau (Sud-Est de la France) (Image Google Earth).



Disposition des blocs de plaques (5 × 5 m) sur le site à restaurer et échantillonnage de la végétation au sein et hors des plaques (Renaud Jaunatre, IMBE, inédit)





Paramètres des communautés végétales en fonction des traitements et au cours du temps. A: pourcentage de végétation; B: Hauteur moyenne de la végétation; C: Richesse spécifique. Tous les traitements, les transferts de plaques en 2010 et 2011 (Plaque10 et Plaque11) ainsi que les transferts en vrac en 2010 et 2011 (Vrac10 et Vrac11) sont comparés à la steppe de référence (COUS). Les barres représentent la moyenne et les barres d'erreur l'erreur standard. Les valeurs du p des ANOVAs sont indiqués par NS:  $p > 0.05$ , \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$  et \*\*\*:  $p < 0.001$ . Au sein de chaque graphique, deux barres surmontées par une lettre identique ne présentent pas de différences significative (selon le test de Tukey HSD,  $p > 0.05$ ).

**Points supplémentaires:** Expérience menée entre 2010 et 2011.

## Références

Jaunâtre R., Buisson E., Dutoit T. (2011) Restauration de la communauté végétale du Coussoul par le transfert de sol: transfert de plaques ou transfert en vrac? Rapport intermédiaire. Gagneraud Constructions – SCLM –IMBE-UAPV. 10 pages



## 4. Restauration expérimentale d'une pelouse méditerranéenne par création de technosols

Thierry Dutoit<sup>1</sup>, Julie Chenot<sup>1,2</sup>, Renaud Jaunatre<sup>3</sup>, Elise Buisson<sup>1</sup>, Pierre Bourguet<sup>2</sup>

Site



La carrière Saint-Martin de Crau, plaine de la Crau, Sud-Est de la France (Photo Gagneraud)

Objectifs

- Création de sols artificiels (technosols) avec ou sans le semis d'une espèce dominante à partir de matériaux recyclés non ou peu exploités en carrière alluvionnaire sèche;
- Choix du meilleur type de technosol en fonction de la composition pour orienter la végétation sur une trajectoire permettant à terme de restaurer la composition et la richesse spécifique d'une pelouse méditerranéenne à l'image de celle qui préexistait avant l'exploitation;
- Profiter d'un effet de dilution du sol qui préexistait avec les autres matériaux pour étendre cette technique à d'autres sites;
- Restauration de la composition et des fonctions de l'horizon supérieur organique du sol (40 premiers centimètres);
- Lutte contre les espèces non-cibles via le choix de la composition du technosol et le semis de l'espèce dominante.

1. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, UMR CNRS IRD Aix Marseille Université, IUT site Agroparc, BP 61207, 84911 Avignon cedex 09, France.

2. Société des Carrières de La Ménudelle, 13. BP 80011, 13551 Saint-Martin-de-Crau, France.

3. Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR EMGR, 2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 St-Martin-d'Hères, France.

## Principe

- Réalisation de différents types de mélange de sol en fonction d'un gradient allant de 0 à 100% de présence de la terre végétale préexistante en mélange avec du substrat géologique (0-30mm), produit d'exploitation de la carrière;
- Réalisation des 4 mélanges testés à l'aide d'un chargeur;
- Transfert des différents mélanges dans des quadrats de 25m<sup>2</sup> sur 40 cm d'épaisseur au chargeur sur le site à restaurer après mises aux normes du sous-sol (infiltration, caractéristiques pédologiques);
- Semis dans la moitié des quadrats d'une espèce (*Brachypodium retusum*), espèce herbacée dominante de la pelouse méditerranéenne à recréer.

## Recommandé pour

- Restauration de la trajectoire successionale de pelouses méditerranéennes quand les sols initiaux ont été détruits;
- Possibilité d'étendre cette technique pour la couverture pédologique de sites divers en climat méditerranéen (décharge, sites industriels divers, etc.);
- Possibilité de nouvelles valorisations de produits issus de l'exploitation de la carrière (terre végétale diluée, certaines catégories de matériaux comme les boues de lavage).

## Limitations

- Temps nécessaire inconnu pour restaurer la majorité de la composition et de la richesse de la pelouse méditerranéenne ciblée;
- Temps de régression des espèces non-cibles inconnu;
- Impacts de la végétation avoisinante (pluie de graines);
- Impacts potentiellement forts de sécheresses importantes dans le cadre de changements climatiques car les 40cm de technosol sont déposés sur des substrats différents de ceux ayant initiés les pelouses méditerranéennes semi-naturelles;
- Coût élevé de certains matériaux et du temps pour faire les mélanges;
- Nécessité de remettre en place le système pastoral pour gérer les communautés végétales recrées;
- Problème du coût et de l'origine des semences de l'espèce dominante (en provenance d'Espagne).

## Conditions d'applications

- Réalisation du transfert au printemps ou à l'automne entre deux pluies pour maximiser la reprise de l'espèce nurse semée;
- Besoin d'un chargeur;
- 1 personnel pour conduite chargeur et 3 personnels pour guider, préparer les lits de semences et semer;
- Balisage préalable des zones de mélanges et d'épandages des technosols.

## Configuration de la mise en œuvre

- Après exploitation du carreau, imperméabilisation du fonds avec les boues de lavage (70 cm), remplissage par des inertes, puis tassement à la cote -40 cm;
- Récolte de la terre végétale dans un verger abandonné et bientôt exploité par la carrière (printemps 2015);
- Réalisation des différents mélanges sans stockage préalable;
- Epanchage des 50 quadrats de 25m<sup>2</sup> sur 40 cm d'épaisseur avec disposition aléatoire des différents traitements;
- Semis de l'espèce dominante (*Brachypodium retusum* sur la moitié des quadrats);
- Suivis de la végétation et des paramètres physico-chimiques des technosols entre 2016 et 2018.



Mise en place des différents mélanges de technosols (Photo. J. Chenot, IMBE-Gagneraud).



Dispositif expérimental finalisé (Photo. J. Chenot, IMBE-Gagneraud).



Vue aérienne et schéma du dispositif expérimental des différents types de technosols testés (Photo SCLM et montage Chenot, IMBE-Gagneraud)

#### Points supplémentaires:

- Résultat après trois années montrant un effet significatif du semis d'espèce dominante (*Brachypodium retusum*) permettant de diminuer la richesse spécifique des espèces cibles et non-cibles et d'augmenter la similitude avec la pelouse méditerranéenne de référence;
- La similitude de composition avec la steppe et la richesse spécifique totale peuvent être modulées avec le type de mélange de sol. Plus le mélange contient de la terre végétale, plus la communauté végétale est riche en espèces. A l'inverse, plus le mélange est riche en substrat brut, plus la communauté présente une physionomie similaire à celle de la steppe de référence mais avec une richesse floristique moindre.

## Références

Chenot, J. (2018). Réhabilitation écologique d'écosystèmes dégradés par l'exploitation des carrières: faire avec, refaire ou laisser faire la nature? Thèse de Doctorat, Avignon Université, IMBE- Gagneraud-SCLM.



## 5. Restauration d'une pelouse méditerranéenne par transfert de sol en vrac avec respect de l'organisation des horizons pédologiques

Thierry Dutoit<sup>1</sup>, Adeline Bulot<sup>1,2</sup>

Site



Site de la pollution aux hydrocarbures trois années après la réhabilitation (Saint-Martin de Crau, plaine de la Crau, Sud-Est de la France, Photo Roland R., DREAL PACA)

Objectifs

- Restauration de l'écosystème de référence (pelouse sèche méditerranéenne);
- Restauration de la composition, richesse et similitude avec la végétation qui préexistait avant la fuite d'hydrocarbures;
- Restauration de la composition et des fonctions de l'horizon supérieur organique du sol (20 premiers centimètres);
- Restauration de l'organisation pédogénétique des différents horizons du sol qui préexistaient (Ferralsol leptique tronqué).

Principe

- Prélèvement au printemps et en conditions humides du sol sur une surface de 5 hectares et une profondeur de 40 cm correspondant à l'épaisseur de la terre végétale dans une pelouse méditerranéenne constituant l'écosystème de référence mais programmée pour être détruite suite à l'extension d'une carrière de granulats (exploitation des cailloutis duranciens de la plaine de La Crau);
- Transfert des différents horizons prélevés au chargeur immédiatement sur le site à restaurer dans le respect de l'organisation verticale des horizons pédologiques;
- Dépôt du sol sur le site à restaurer en respectant scrupuleusement l'ordre des horizons pédologiques avec passage d'un rouleau compacteur entre chaque horizon déposé.

1. Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE), Avignon Université, UMR CNRS IRD Aix Marseille Université, IUT site Agroparc, BP 61207, 84911 Avignon cedex 09, France.

2. AGROCAMPUS OUEST UMR BAGAP, AGROCAMPUS OUEST, 2 rue André Le Nôtre, 49045 Angers Cedex 01, France.



## Recommandé pour

- Restauration d'écosystèmes de pelouses méditerranéennes à partir de la récupération du sol d'un site antérieurement programmé pour être détruit;
- Restauration d'un site dont le sol a été totalement détruit.

## Limitations

- Distance entre la zone de prélèvement du sol et de son dépôt doit être minimale;
- Destruction totale du sol du site donneur;
- Dérangement de la faune lors du transfert;
- Coût élevé du transfert de sol (42 000 tonnes au total);
- Technique non durable car impact sur écosystème de référence (prélèvement) et technique impliquant d'importantes consommations de ressources non renouvelables (hydrocarbures) et pollution (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particules fines, etc.);
- Après 8 années de suivi, pas de restauration de l'intégralité de la structure de la steppe de référence et évolution à certains endroits vers une micro-association de la steppe (tonsures à *Crassula tillaea*) suite au tassement par le rouleau compacteur;
- Ralentissement de la colonisation des espèces végétales (*Brachypodium retusum*) et de certains insectes (fourmis) liés aux microhabitats formés par les galets suite à leur enfoncement lors du passage du rouleau compacteur.

## Conditions d'applications

- Réalisation du transfert au printemps ou à l'automne entre deux pluies pour maximiser la reprise de la végétation, notamment les herbacées pérennes;
- Besoin de deux chargeurs, 1 bulldozer, camions de transport pour le sol, rouleau compacteur;
- Autorisation nécessaire pour la zone de prélèvements si elle est située sur une propriété différente de la carrière;
- Balisage préalable des zones de prélèvements, dépôts et itinéraires, etc.

## Configuration de la mise en œuvre



Etendue de la nappe de pétrole en août 2009 (Photo SDIS13-AFP)



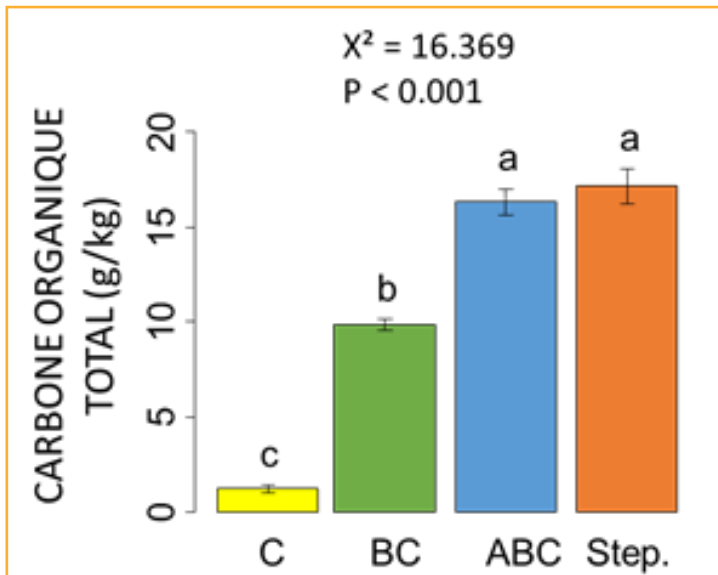
Remise en place des différentes couches de sol au printemps 2011 en provenance d'une carrière proche après enlèvement du sol pollué en 2010 (Photo S. Masson, IMBE).



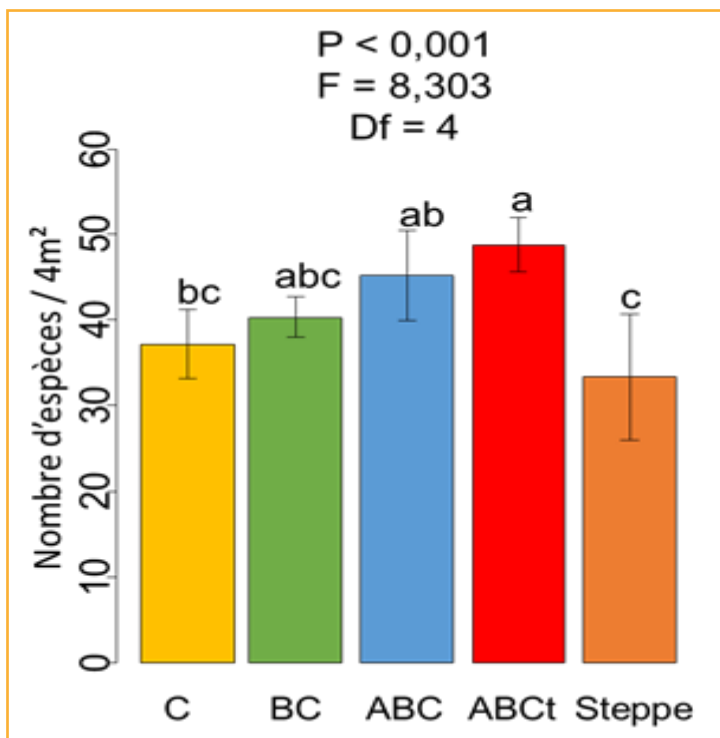
Différents traitements mis en place en avril 2011. (Photo SPSE)



Vue du site réhabilité au printemps 2013 (Photo Roland R., DREAL PACA)



Evolution de la teneur en matières organiques dans les différents traitements en 2013, seul celui respectant l'organisation verticale initiale des horizons de sol (ABC) ne présente plus de différences significatives avec celui du sol de la steppe de référence.



Evolution de la richesse spécifique dans les différents traitements en 2017. Les traitements respectant l'organisation verticale des différents horizons pédologiques (ABC et ABC (t) tassé) sont significativement plus riches en espèces que la steppe de référence.

**Points supplémentaires:** Mise en place de l'expérience au printemps 2011, suivis botaniques annuels toujours en cours, analyses physico-chimiques des sols tous les 3 ans.

## Références

Bulot, A., Potard, K., Bureau, F., Bérard, A., Dutoit, T. (2017). Ecological restoration by soil transfer: impacts on organic matters and microbial activity. *Restoration Ecology* 25: 354–366

Bulot, A., Provost, E., Dutoit, T. (2014). A comparison of different soil transfer strategies for restoring a Mediterranean steppe after a pipeline leak (La Crau plain, South-Eastern France). *Ecological Engineering* 71: 690-702

Bulot, A., Provost, E., Dutoit, T. (2014). Transférer le sol pour restaurer des communautés végétales: quelles leçons pour mesurer la résilience des pelouses sèches? (Plaine de La Crau, Sud-Est de la France). *Acta Botanica Gallica - Botany Letters*. 161: 287-300

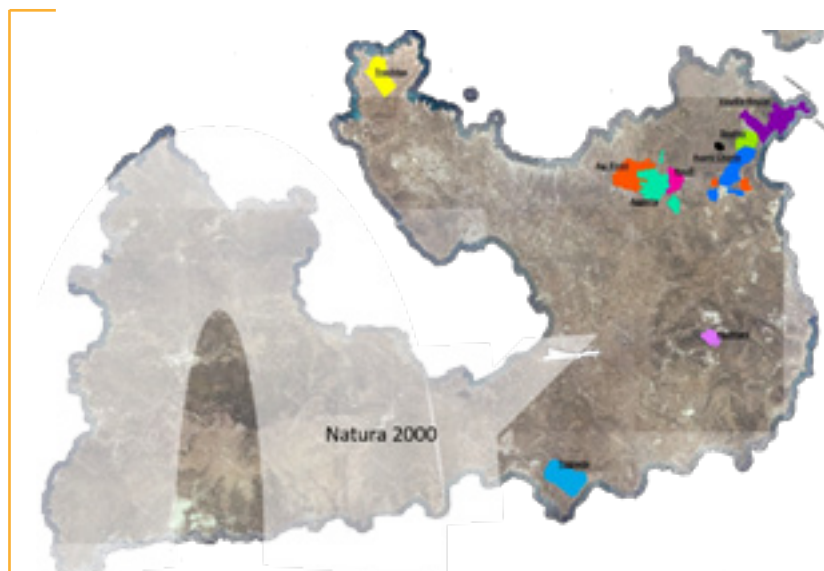
Dutoit, T., Bulot, A., Wolff, A. (2015). Ecologiser le génie civil pour innover dans la restauration des écosystèmes: Le cas d'un chantier de réhabilitation d'une fuite d'hydrocarbures. *Sciences, Eaux et Territoires*, 17: 12-16.



## 6. Réaménagement écologique des sites miniers dans la région de Milos - Grèce

Santiago Forero<sup>1</sup>, Philippe Gourdain<sup>2</sup>, Christine Deneriaz<sup>3</sup>

Site



Localisation des sites miniers à l'Est et des sites Natura 2000 à l'Ouest de Milos. Modifié de Imerys

Le réseau de sites miniers est localisé dans l'île de Milos, dans l'archipel des Cyclades en Grèce insulaire. L'île de 158 km<sup>2</sup> est couverte de collines, présente un climat semi-désertique (300-400 mm de précipitations par an) avec une période de sécheresse d'avril à septembre et des embruns fréquents. La végétation est dominée par des espèces de type à Phryganes (hibernation estivale) et des arbustes. Onze espèces rares, endémiques et/ou menacées sont recensées autour des carrières à ciel ouvert d'Imerys pour l'exploitation de perlites et bentonites, situées dans la partie est de l'île. La partie ouest de l'île présente une grande richesse écologique avec des sites Natura 2000 comme la Zone de Protection Spéciale «Dytiki Milos, Antimilos, Polyaigos Kai Nisides».

Objectifs

L'objectif principal est de réaménager ces carrières suite à la cessation de leur activité, afin de retrouver des écosystèmes fonctionnels et accueillant une biodiversité typique de cette zone géographique. Des opérations de restauration écologique sont engagées de manière volontaire sur ce site depuis les années 1970-1980 et elles vont bien au-delà des strictes exigences réglementaires. Elles ont été progressivement améliorées grâce à une meilleure connaissance et une compréhension des écosystèmes locaux acquises au travers d'expérimentations et de travaux de recherche menés avec des partenaires universitaires.

1. Chef de projet Stratégie Biodiversité – UMS Patrimoine Naturel. [santiago.forero@mnhn.fr](mailto:santiago.forero@mnhn.fr)

2. Responsable de la cellule «partenariats biodiversité» - UMS Patrimoine Naturel. [philippe.gourdain@mnhn.fr](mailto:philippe.gourdain@mnhn.fr)

3. Directrice Environnement – Imerys [christine.deneriaz@imerys.com](mailto:christine.deneriaz@imerys.com)



## Principe

En complément de ces initiatives locales, un nouveau partenariat entre Imerys et l'UMS Patrimoine Naturel a été établi en 2018, afin de structurer et de mettre en œuvre un projet global de biodiversité qui permettra de:

- Découvrir, évaluer et suivre la biodiversité sur les sites miniers et leurs alentours et identifier les enjeux écologiques associés;
- Comprendre le fonctionnement des écosystèmes en vue de la réhabilitation;
- Apporter un soutien aux activités de restauration écologique et apporter des améliorations méthodologiques, ainsi qu'un soutien pour l'optimisation des mesures pour la prise en compte de la biodiversité;
- Valoriser ces retours d'expérience pour en constituer des références et pour déployer de bonnes pratiques d'exploitation qui prennent mieux en compte la biodiversité.

## Recommandé pour

Le réaménagement écologique effectué depuis une quarantaine d'années repose sur 5 étapes:

1. Reprofilage du terrain avec des stériles pour rétablir des pentes et topographies appropriées et en adéquation avec les zones environnantes;
2. Couverture par l'ajout d'une couche de terre de surface (horizon humique, terre végétale et fertile) sur les terrains reprofilés, afin d'apporter de la matière organique; Cette couche de 30 à 50 cm d'épaisseur est d'origine locale (terre de découverte);
3. Ensemencement par hydroseeding avec des graines collectées en milieux naturels;
4. Plantation d'arbustes, arbrisseaux, arbres et plantes du maquis afin de compléter les ensemencements. Ces plants sont produits dans les pépinières d'Imerys;
5. Entretien de la végétation par la mise en place de clôtures qui protègent la végétation des troupeaux de chèvres et des brebis. Cet entretien a lieu au moins dans les 3 à 5 premières années en attendant que les plantes soient suffisamment développées.

## Limitations

Recommandé pour la restauration de sites miniers en contexte méditerranéen, suite à leur phase d'exploitation et dans des conditions de dessiccation et de salinité élevées.

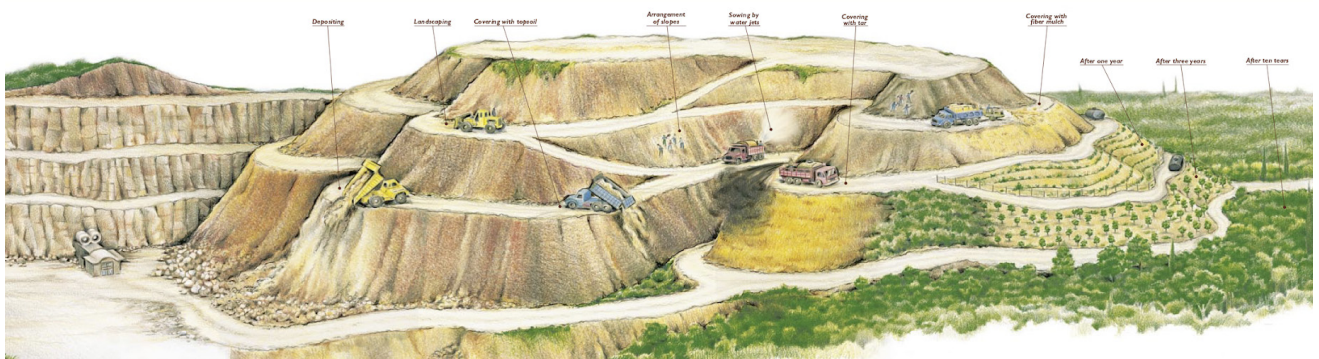
- Opérations de restauration écologique impactées par les conditions climatiques de sécheresse et le surpâturage par des caprins et brebis, très marqué dans l'île, qui induit une dégradation de la végétation et de l'horizon humique du sol;
- Présence d'espèces exotiques envahissantes, comme les griffes de sorcières (*Carpobrotus edulis*), largement disséminées sur l'île de Milos. Imerys détruit aujourd'hui certaines stations de *Carpobrotus* pour replanter des espèces locales;
- L'absence d'une loi qui oblige tous les exploitants en Grèce à restaurer selon les mêmes standards peut limiter la cohérence des mesures de restauration d'un exploitant minier à un autre.

## Conditions d'applications

- Utilisation des graines, semis et plants d'origine locale pour prévenir l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, pour préserver le patrimoine génétique des populations locales, pour garantir que les espèces utilisées seront tolérantes à la sécheresse et à la salinité, et pour réduire ainsi les coûts d'entretien (arrosage, remplacement des plants, etc.);
- Le processus de restauration peut prendre entre six et neuf ans, en fonction du climat, de la qualité du sol, de l'altitude et de la topologie;
- Les coûts des opérations diffèrent selon l'étape et peuvent être conséquents, notamment le reprofilage et la couverture avec topsoil, ainsi que les phases finales d'entretien et d'arrosage des plants;
- Le maintien dans un état de conservation favorable, la conservation de la propriété foncière des sites restaurés par les entreprises exploitantes, la gestion et le suivi de la biodiversité sur le long terme sont essentiels pour garantir la pérennité des mesures écologiques.

## Configuration de la mise en œuvre

- Amélioration du réaménagement par l'observation en s'inspirant du fonctionnement des habitats naturels et des espèces locales, ainsi que par l'association avec des scientifiques;
- Utilisation d'environ 70 espèces différentes en hydroseeding avec des graines collectées en milieux naturels. Production de 25.000 plants d'espèces indigènes par an, dont 20.000 sont plantés chaque année pour la restauration des sites et 5.000 sont fournis gratuitement pour les besoins de la collectivité;
- Depuis 1996, aucun système d'irrigation n'est plus nécessaire grâce à l'utilisation pour la végétalisation, d'espèces locales adaptées à la sécheresse (phryganes et espèces du maquis), aux embruns et conditions de salinité (espèces halophiles);
- Partenariats avec des universités grecques pour la réalisation d'études écologiques, comme celle effectuée avec l'université d'Athènes sur les reptiles et qui a permis de confirmer la fonctionnalité écologique des sites réhabilités.



Les 5 étapes de la réhabilitation des sites sur Milos. © Silver and Baryte Ores Mining Co.



Pépinière d'Imerys pour la restauration des sites miniers (gauche © P Gourdain) et plantation de jeunes plants pendant la saison de pluies sur l'île de Milos (centre) en utilisant des plantes de phryganes (droite © Imerys Greece)

Initial state (1990)



After hydroseeding with local seeds



Current state (2014)



After planting with indigenous



Evolution de la réhabilitation de la mine de perlite Hivadolimni. © Imerys Greece



### **Points supplémentaires:**

Ces travaux sur les sites de Milos et de Phokis suscitent une grande motivation chez Imerys qui souhaite poursuivre son investissement dans la R&D en restauration écologique et obtenir un saut qualitatif et une optimisation des coûts liés au réaménagement.

Plusieurs autres sujets sont à étudier:

- Tester des chantiers de gestion (arrachage) des plantes invasives, associés à des opérations systématiques de replantations avec des espèces locales;
- Réaliser des suivis complémentaires faune/flore pour s'assurer de la fonctionnalité écologique des sites réaménagés;
- Implémenter des recherches sur la dynamique biotique du sol (microflore, symbioses) pour optimiser la revégétalisation;
- Valoriser et diffuser les bonnes pratiques en interne et via des communications dans des revues technico-scientifiques.

## **Références**

Responsables sur les sites de Milos:

- Giorgos Petrakis - Rehabilitation Manager – Imerys [giorgos.petrakis@imerys.com](mailto:giorgos.petrakis@imerys.com)
- Michalis Papatotiriou - Mining manager - Imerys [michalis.papatotiriou@imerys.com](mailto:michalis.papatotiriou@imerys.com)



## 7. Phytoremédiation des déchets miniers et des sols contaminés: Carrières minières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc

Meriem Laghlimi<sup>1</sup>, Bouamar Baghdad<sup>1</sup>, Abdelkader Taleb<sup>1</sup> et Hassan El Hadi<sup>1</sup>

Site



Situation géographique du district minier de Zaida (image satellite)

Objectifs

Remédiation biologique à la contamination par les éléments traces métalliques (ETM) afin de réduire les impacts environnementaux liés à la propagation de ces contaminants dans le milieu.

Principe

- Technologie qui se base sur l'utilisation des plantes et des microorganismes qui leur sont associés pour réduire, dégrader ou immobiliser des contaminants du sol, de l'eau ou de l'air.  
- La phytoremédiation comprend diverses techniques qui sont basées sur différents principes d'action, à savoir: l'extraction, la stabilisation, la dégradation, la volatilisation ou la filtration. Ces processus ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent opérer simultanément.

1. Institut Agronomique et Vétérinaire Hasan II, Rabat, Maroc

## Recommandé pour

- Anciens sites industriels;
- Anciens sites miniers et carrières;
- Anciens sites d'enfouissement;
- Sites utilisés pour des activités militaires;
- Sites d'épandage de boues usées.

## Limitations

- Plus lente par rapport aux autres techniques de dépollution conventionnelles;
- La majorité des plantes hyper-accumulatrices ont une croissance lente;
- Pas capable de réduire à 100% les contaminants;
- Une forte concentration de contaminants peut être toxique pour les plantes;
- La phytoremédiation des sols ne s'applique qu'aux sols superficiels;
- L'utilisation d'espèces invasives et non indigènes peut affecter la biodiversité;
- Risque de contamination de la chaîne alimentaire en cas de mauvaise gestion.

## Conditions d'applications

- Les processus de phytoremédiation sont plus efficaces lorsque les contaminants sont en faibles à moyennes concentrations;
- Les espèces végétales utilisées doivent avoir les caractéristiques suivantes:
  - Tolérance aux ETM;
  - Hyper-accumulation des contaminants;
  - Croissance rapide;
  - Système racinaire dense et développé.

## Configuration de la mise en œuvre



Lot 1: Terre agricole



Lot 2: Résidus miniers + Fumiers



Lot 3: Résidus miniers



Lot 4: Résidus miniers + Engrais chimiques

Expérience ex-situ de phytoremédiation des déchets miniers



*Jatropha curcas*



*Atriplex Nummularia*



*Peuplier*

**Points supplémentaires:** Une dizaine d'espèces végétales ont été testées à Zaida, Quelques-unes sont définies comme de bonnes candidates pour la phytoremédiation. Une installation à grande échelle est en train d'être étudiée.

## Références

Laghlimi M. (2016). Contamination métallique issue des rejets de la mine abandonnée de Zaida (Haute Moulouya, Maroc): Caractérisation et essais de phytoremédiation par *Atriplex Nummularia*. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, 180 p.

Laghlimi, M., Baghdad, B., El Hadi, H., and Bouabdli, A. (2015). Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: A review. *Open Journal of Ecology*, 5, 375-388.

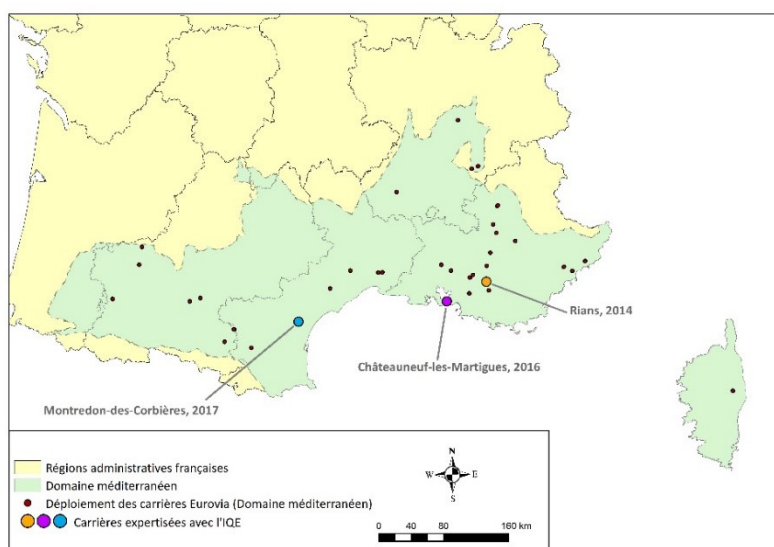
## 8. L'enjeu des suivis de biodiversité dans le cadre de la restauration des mines et carrières.

### Exemple de l'Indicateur de Qualité Ecologique (IQE)

Julien Laignel<sup>1</sup>, Philippe Gourdain<sup>2</sup>

Site

Le protocole IQE (Indicateur de Qualité Ecologique) est aujourd'hui déployé sur plus d'une vingtaine de sites extractifs constituant le réseau de carrières d'Eurovia France. Sur le domaine méditerranéen, trois d'entre elles sont suivies dans le cadre de cette méthodologie: les carrières CBA de Rians (83), Jean-Lefevbre de Châteauneuf-les-Martigues (13) et Domitia Granulats de Montredon-des-Corbières (11).



Localisation des carrières Eurovia suivies dans le cadre du protocole IQE dans le domaine méditerranéen français

Objectifs

L'objectif principal de la méthodologie IQE est de permettre une évaluation globale de la biodiversité et des éco-fonctionnalités d'un site en pour assurer un suivi temporel. L'application de cet indicateur permet de dégager les forces et faiblesses d'un site pour l'accueil de la biodiversité (par exemple fort taux d'artificialisation, présence d'espèces exotiques envahissantes, ou au contraire présence d'habitats naturels fonctionnels, bonne insertion dans les continuités écologiques, etc.). La première application de l'IQE doit permettre d'établir un plan de gestion en faveur de la biodiversité dudit site, dans un processus de conciliation des enjeux écologiques, techniques et socio-économiques.

1. Chargé de mission expertises écologiques – UMS Patrimoine Naturel
2. Responsable scientifique de la cellule «partenariats biodiversité» - UMS Patrimoine Naturel



## Principe

L'atteinte des objectifs précités passe par l'application d'une méthodologie scientifiquement robuste et dont la mise en œuvre se veut simple. Elle fait intervenir la collecte et le traitement de données bibliographiques et de terrain visant à renseigner trois compartiments considérés comme étant des clefs de lecture majeures de la complexité des écosystèmes : la patrimonialité, la fonctionnalité et la diversité.

De manière pratique, le protocole IQE se fonde sur une campagne annuelle de six jours d'inventaires de terrain répartis sur les périodes printanière et estivale et durant lesquels un itinéraire échantillon, assorti de points d'écoute pour les oiseaux, est mis en place afin d'assurer le parcours de l'ensemble des milieux représentatifs du site étudié. Au sein de cet itinéraire sont relevées des données relatives aux habitats, à la flore et à la faune (Oiseaux, Amphibiens, Reptiles, Papillons de jour, Odonates) dont l'analyse a posteriori permettra de renseigner un ensemble de sous-indicateurs dont l'évolution est suivie selon un pas de temps triennal (en contexte de gravières) ou quinquennal (sites d'extraction de roches massives), par le biais d'un système de notation propre à chacun d'entre eux. Ces résultats bruts, présentés sous la forme d'un diagramme radar, sont ainsi interprétables par des non-spécialistes. Ils fournissent une grille de lecture simplifiée, permettant de mettre en exergue les points forts et les pistes d'amélioration relative à chaque site. In fine cet indicateur permet de définir, conjointement avec les opérateurs locaux, des orientations de gestion pondérées aux enjeux. Ces résultats, associés au plan de gestion affilié, font l'objet d'un rapport d'expertise, transmis aux différents interlocuteurs de chaque carrière étudiée. Ce rapport d'expertise leur est ensuite présenté au cours d'une restitution orale, lors d'un comité technique de manière à valider, avec les décideurs, les propositions d'actions (réaménagement, gestion écologique, etc.).

## Recommandé pour

- Suivi écologique global de sites aménagés ou naturels sur le moyen ou long terme, basé sur un protocole standardisé permettant:
- Un déploiement à large échelle via une méthodologie robuste mais simple à mettre en œuvre;
- Un suivi du comportement des sous-indicateurs reflétant les effets des actions entreprises sur chaque site au regard des activités inhérentes à ce dernier et des sensibilités écologiques locales;
- Un accès facilité pour les opérateurs locaux aux conclusions de l'étude et au plan d'action.
- Pré-diagnostic de secteurs pouvant être visés par des projets d'aménagement (gestion du foncier d'une entreprise et logique d'évitement des impacts les plus significatifs). Dans ce cas, l'IQE peut jouer un rôle d'outil d'alerte préalable à la mise en place d'études réglementaires (études d'impacts, études d'incidences).

## Limitations

- Les analyses issues de la mise en place du protocole IQE nécessitent l'intervention d'une part d'empirisme reposant sur le dire d'experts;
- L'IQE n'est pas adapté à toutes les situations et de ce fait, avant son application, il est nécessaire de s'interroger sur la finesse souhaitée du suivi ainsi que sur sa finalité.
- L'IQE n'est pas adapté au suivi de grandes masses d'eau (milieux lacustres, fleuves, etc.).  
Ce n'est pas un outil qui peut se substituer aux:
  - suivis spécifiques et détaillés de fonctions éco-biologique (e.g Etude des traits de vie d'une espèce, Etude fine des écofonctionnalités des réseaux écologiques, Dynamique des peuplements, etc.);
  - aux études réglementaires, qui s'appuient sur des protocoles de collecte de données beaucoup plus lourds (pression d'observation) et étendus (autres groupes taxonomiques cibles comme les chiroptères, etc.). On notera cependant, que le rôle d'outil d'alerte de l'IQE peut contribuer à mettre en exergue des sensibilités écologiques des sites et in fine contribuer à leur prise en compte en amont de l'application des études règlementaires.

## Conditions d'applications

- Le cadrage méthodologique de l'IQE impose le champ d'application suivant:
- Les sites doivent se situer en France métropolitaine (Corse comprise);
  - Leur surface doit être comprise entre 10 et 100 hectares;
  - La mise en place du protocole IQE fait intervenir un ou plusieurs naturalistes de bon niveau, ayant suivi au préalable une session de formation au MNHN auprès d'utilisateurs expérimentés de l'IQE.

## Configuration de la mise en œuvre

La mise en place de l'IQE sur un site extractif du réseau Eurovia France découle d'une démarche volontaire de la part des responsables locaux des exploitations qui mandatent à ce titre, un organisme missionnaire (Bureau d'étude, Association, Universitaire) ayant suivi une session de formation IQE, assurée par le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Chaque année, ces organismes ont l'occasion de se réunir dans le cadre d'une communauté de pratiques organisée par le MNHN. Cette réunion annuelle permet d'échanger autour des différents retours d'expérience et ainsi d'évaluer l'efficacité du dispositif afin, le cas échéant, de l'optimiser.

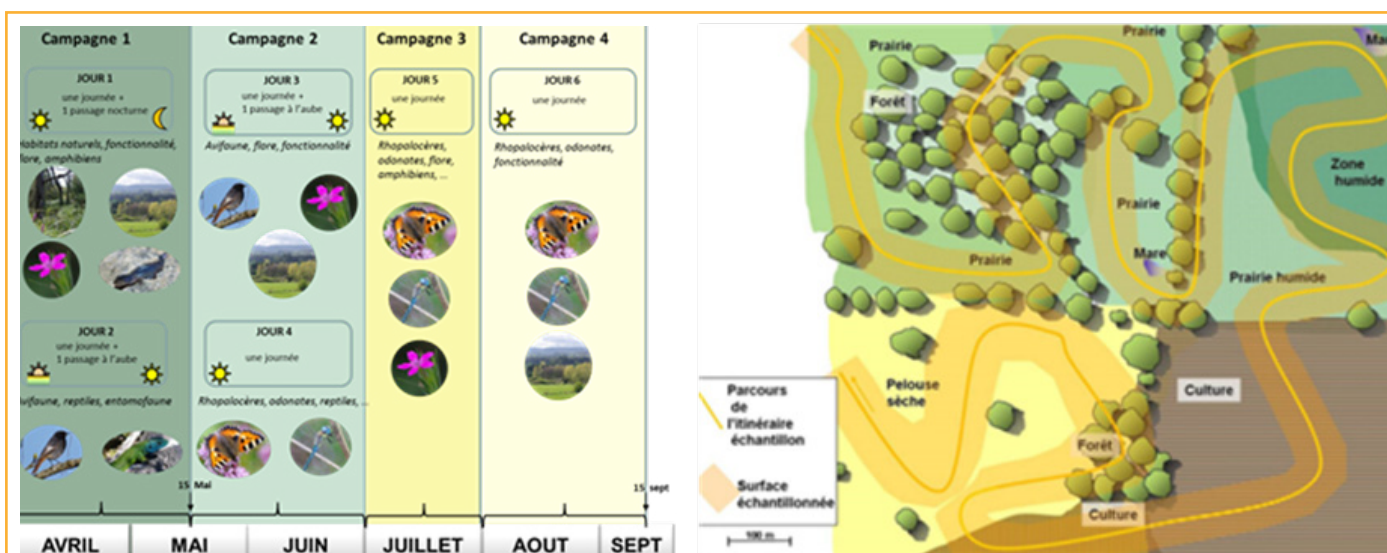
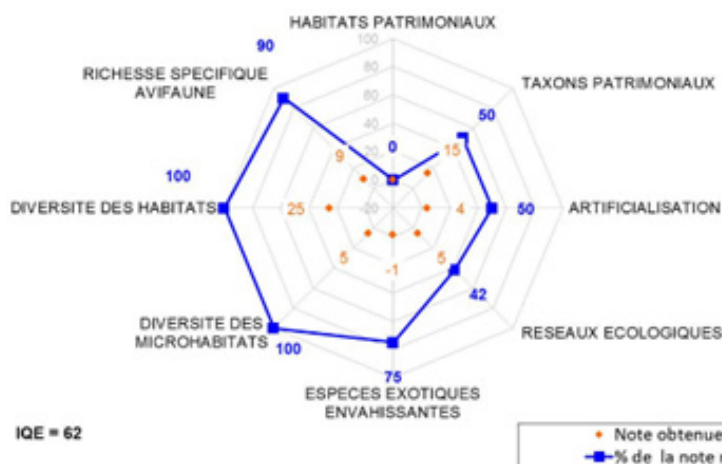


Schéma simplifié de la méthodologie IQE (*Guide méthodologique IQE, Delzons O. 2015*)



Exemple de diagramme-radar (fictif) présentant le mode de représentation de résultats et les sous-indicateurs étudiés.

**Points supplémentaires:** Le protocole IQE a été décliné en une version allégée, dénommée IPE (Indicateur de Potentialité Ecologique) permettant, sur la base d'une unique visite de terrain, d'évaluer les écopotentialités d'un site.

## Références

Référent méthodologie IQE:

- Olivier Delzons – Chef de projet indicateurs et méthodologies – UMS Patrimoine Naturel. [Olivier.delzons@mnhn.fr](mailto:Olivier.delzons@mnhn.fr)

Le site internet dédié aux méthodologie IQE et IPE:

<http://iqe-spn.mnhn.fr/>

Le guide méthodologique des deux indicateurs:

Delzons, O. (2015). L'indicateur de Qualité Ecologique (IQE) et l'Indicateur de Potentialité Ecologique (IPE) – Méthodologie. Rapport SPN/ MNHN. 63 pages

<http://iqe-spn.mnhn.fr/wp-content/uploads/sites/12/2016/10/IQE-et-IPE-Approche-m%C3%A9thodologique-X-2016.pdf>

## 9. Réhabiliter des perceptions pour mieux restaurer des écosystèmes

Johnny Fenianos<sup>1,2</sup>, Denis Brouillet<sup>1</sup>, Carla Khater<sup>2</sup>

Site

N/A

Objectifs

- Faire converger les approches de l'écologie de la restauration et de la psychologie cognitive.
- Assurer une meilleure acceptation des priorités écologiques par les parties prenantes impliquées dans un projet de restauration.
- Adapter les approches en écologie aux attentes des communautés.
- Comprendre le fonctionnement d'un site et ses interactions avec son environnement et comprendre les représentations mentales des communautés humaines pour adapter les modes de présentations et de communication.
- Concilier entre les besoins des écosystèmes et les attentes des communautés.

Principe

Utiliser les outils de la psychologie cognitive au service de la restauration écologique. Ces outils concernent la flexibilité cognitive et la perception de l'espace par les communautés cibles.

**Recommandé pour** En phase de préparation d'un projet et le long du processus

**Limitations** Résistance possible de la part des parties prenantes

Conditions  
d'applications

- Accès aux parties prenantes
- Volonté et disposition à participer

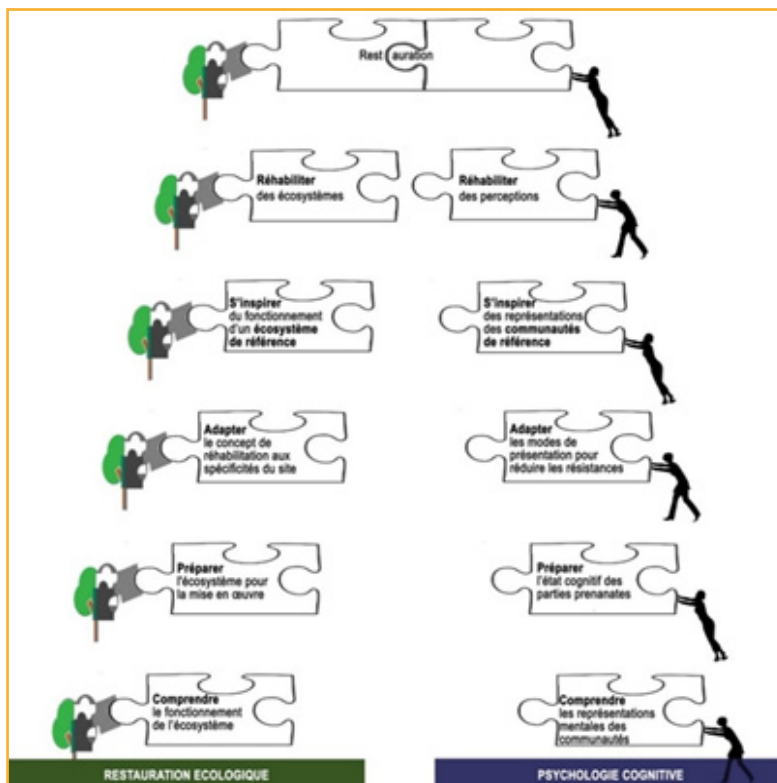
1. Université Paul Valéry Montpellier III, Laboratoire Epsilon, Montpellier - France

2. Center for Remote Sensing - National Council for Scientific Research Lebanon, Bir Hassan, Beirut - Lebanon



## Configuration de la mise en œuvre

- Comprendre les représentations mentales des communautés et comprendre le fonctionnement de l'écosystème;
- Préparer l'état cognitif des parties prenantes pour abaisser la résistance éventuelle liée à la proposition du projet de réhabilitation (exercices) et préparer l'écosystème à sa trajectoire de réhabilitation par des interventions sur le site (création d'habitats, plantation, semis, attraction d'espèces animales etc...);
- Adapter les modes de présentation pour réduire les résistances et adapter le concept de réhabilitation aux spécificités du site,
- S'inspirer des représentations des communautés de référence pour orienter l'intervention et s'inspirer du fonctionnement d'un écosystème de référence pour orienter l'intervention
- Restaurer des perceptions pour mieux restaurer des écosystèmes.



Points supplémentaires: N/A

## Références

- Khater, C., Fenianos, J., Brouillet, D., and Nicolas Arnaud., N. (2019). Bridging Ecological Rehabilitation and Socio Cognitive Psychology. *Int J Environ Sci Nat Res.* 2019;17(2): 555957. DOI: 10.19080/IJESNR.2019.17.555957
- Fenianos, J., Khater, C., and Brouillet, D. (2018). When Psychology Meet Ecology: Cognitive Flexibility for Quarry Rehabilitation. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Psychological and Behavioral Sciences*, 12(5). doi:10.1999/1307-6892/10008977
- Fenianos, J. (2018). *Entre Psychologie et Ecologie: approche psycho- socio-écologique de la restauration des carrières en région méditerranéenne (cas du Liban)* (Doctoral dissertation, Montpellier 3).
- Fenianos, J., Khater, C., and Brouillet, D. (2018). Adapting Presentation Modes to Cultural Backgrounds in Environmental Projects: The Effect of Reading/Writing Habits. *CPQ Neurology & Psychology*, 1(1), 01-13.
- Fenianos J., Khater C., Viglione J., and Brouillet D. (2017). Bridging nature and human priorities in ecological rehabilitation projects - a show case from Mediterranean environment - Qattine, Lebanon. *Plant Sociology Journal*. doi: 10.7338/pls2017541S1/13.



## 10. De l'approfondissement des connaissances bio-écologiques d'une espèce protégée à sa conservation: le cas de l'Hélianthème à feuilles de Marum (*Helianthemum marifolium* Mill., 1768)

Julien Laignel<sup>1</sup>, Philippe Gourdain<sup>1</sup>, Gérard Fillipi<sup>2</sup>, Lara Dixon<sup>3</sup>, Henri Michaud<sup>4</sup>, Marc Inglebert<sup>4</sup>, Stéphane Martin<sup>4</sup>, Audrey Marchand<sup>4</sup>, Karen Bernard<sup>4</sup>, Clara Lorinquer<sup>4</sup>

Située sur la commune de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône, France), la zone d'étude est caractérisée par la présence d'une carrière d'extraction de roches massives gérée par la société Jean Lefebvre, succursale locale d'Eurovia. Le périmètre de cette carrière s'insère dans un contexte naturel dominé par les milieux composant théoriquement la série progressive de la Chênaie verte et où s'installent des pelouses xériques à Thym et Brachypode et où serpente un réseau dense de pistes à faible végétalisation.

C'est au sein de ces secteurs très minéraux et des pelouses les plus écorchées que se développe l'Hélianthème à feuilles de Marum (*Helianthemum marifolium* Mill., 1768), espèce pionnière protégée sur le territoire métropolitain français et déterminante de ZNIEFF en région PACA.



Site

Sa présence au sein et sur le pourtour proche de la carrière induit la mise en place de mesures de conservation des populations locales dans un contexte d'évitement, de réduction, voire de compensation de potentiels impacts des activités extractives sur cette espèce.

L'enjeu principal réside ici dans la conciliation des usages en cours, sur et à proximité directe de la carrière avec les enjeux de conservation de cette espèce à l'échelle locale, intégrant la prise en compte des fonctionnalités écosystémiques nécessaires à sa préservation, voire son développement.

1. Patrimoine naturel (PatriNat), Unité Mixte de Service – France
2. Ecotonia - Cabinet d'expertises naturalistes – France
3. Conservatoire Botanique National méditerranéen de Porquerolles – France
4. EUROVIA - France

## Objectifs

Les objectifs s'articulent autour d'une démarche de type Connaître-Éviter-Réduire-Compenser-Accompagner («CERCA»):

- Approfondir les connaissances sur la bioécologie locale de l'espèce et sur les interactions écosystémiques affiliées;
- Affiner la distribution avérée et potentielle de l'espèce;
- Mettre en place une stratégie de conservation *ex situ* et *in situ* de l'espèce;
- Proposer des pistes d'amélioration des processus et usages en cours sur le site; (à préciser avec la démarche ERC)
- Réaliser un suivi expérimental pour l'évaluation de l'efficacité des mesures de conservation et introduction sur secteurs propices à l'accueil de l'espèce *ex situ/in situ* (Suivis de déplacements et réintroduction) ainsi qu'un suivi de la mise en place des préconisations susmentionnées.

## Principe

L'atteinte des objectifs précités passe par l'application de:

o État des lieux via

1. Inventaires de terrain (mise à jour des stations, caractérisation écologique des sites d'occupation ou de non-occupation de l'espèce avec mesures physiques et biométriques *in situ et ex situ*)

2. Revue bibliographique exhaustive sur *H. marifolium* et le genre *Helianthemum* dans son ensemble.

o Caractérisation et cartographie des habitats présentant les préférendums écologiques de l'espèce;

o Étude des interactions zoocénétiques (suivi pollinisateurs) et mycocénétiques (recherche de mycorhizes);

o Suivi de l'impact d'opérations de gestion (contrôle de la dynamique du milieu);

Pour ce faire, plusieurs pistes expérimentales ont d'ores et déjà été envisagées, on retiendra parmi elles:

- Étude de la composition «organo- minérale» des sols (zone incendiée, non incendiée);
- Rôle du feu sur la dynamique de germination (dynamique populationnelle, suivi des semis et taux de croissance des individus);
- Test sur la germination en utilisant l'écobuage maîtrisé (selon autorisation) et/ou pour la réouverture de certains milieux (plan de gestion à moyen terme en mosaïque);
- Pollinisation et effet sur la production de semences (hyménoptères, espèces caulicoles, terricoles, écologie par agrégats, smies);
- Création d'habitats favorables aux insectes pollinisateurs et suivis pluriannuels (pop. insectes, production semence, etc.)
- Comparaison de production de graines par placette;
- Étude comparative des placettes favorables vs moins favorables (conditions édaphiques,



## Recommandé pour

analyse diachroniques d'orthophotographies, etc.)

- Mesure de vitesse de la croissance, mesure de la lumière selon les types de végétation;
- Échantillonnage de systèmes racinaires (recherche de mycorhize, etc.);
- Culture ex situ confinée (pas d'introgession) pour production de graines et semis;
- Comparaison génétique avec les populations ibériques (statut de la sous-espèce, etc.).

## Limitations

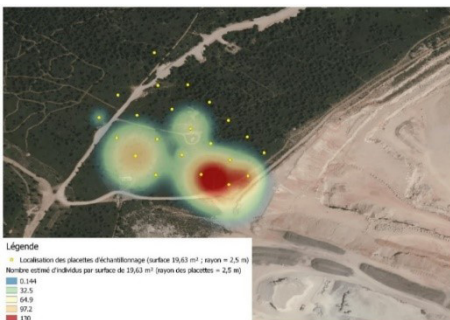
«Philosophie» d'action applicable (si ce n'est adaptable) pour d'autres espèces de plantes protégées et/ou à statut de conservation défavorable

- Contexte d'application locale et non obligatoirement généralisable sur une large aire de répartition (influence potentiellement notable de l'environnement biotique et abiotique du site d'étude);
- Nécessite une mise en œuvre expérimentale pouvant s'avérer coûteuse techniquement et chronophage;
- Manque de recul lié à la «jeunesse» du projet.

## Configuration de la mise en œuvre

**Conditions d'applications** Echelle d'application locale

- Définition de placettes expérimentales *in situ* (ou/et *ex situ*): «priorité sur les secteurs où la concurrence végétale est la moins forte» (CV<75% source: MNHN 2016);
- Piquetage des individus à déplacer;
- Récoltes de graines.



Localisation des placettes d'échantillonnage sur les stations existantes d'*Helianthemum marifolium* Mill., 1768 à proximité de la carrière d'extraction. Cet échantillonnage permet d'estimer la taille de la population et sa distribution spatiale, de mieux comprendre les facteurs favorables à l'espèce et, le cas échant, de pouvoir reproduire tant que possible des conditions similaires sur les sites d'accueil (réintroduction).



Hélianthème à feuilles de Marum (*Helianthemum marifolium* Mill., 1768) (Crédits photographiques: Julien Laignel ©)

## Références

Julien LAIGNEL, UMS PATRINAT ([julien.laignel@mnhn.fr](mailto:julien.laignel@mnhn.fr))

Philippe GOURDAIN, UMS PatriNat ([gourdain@mnhn.fr](mailto:gourdain@mnhn.fr))

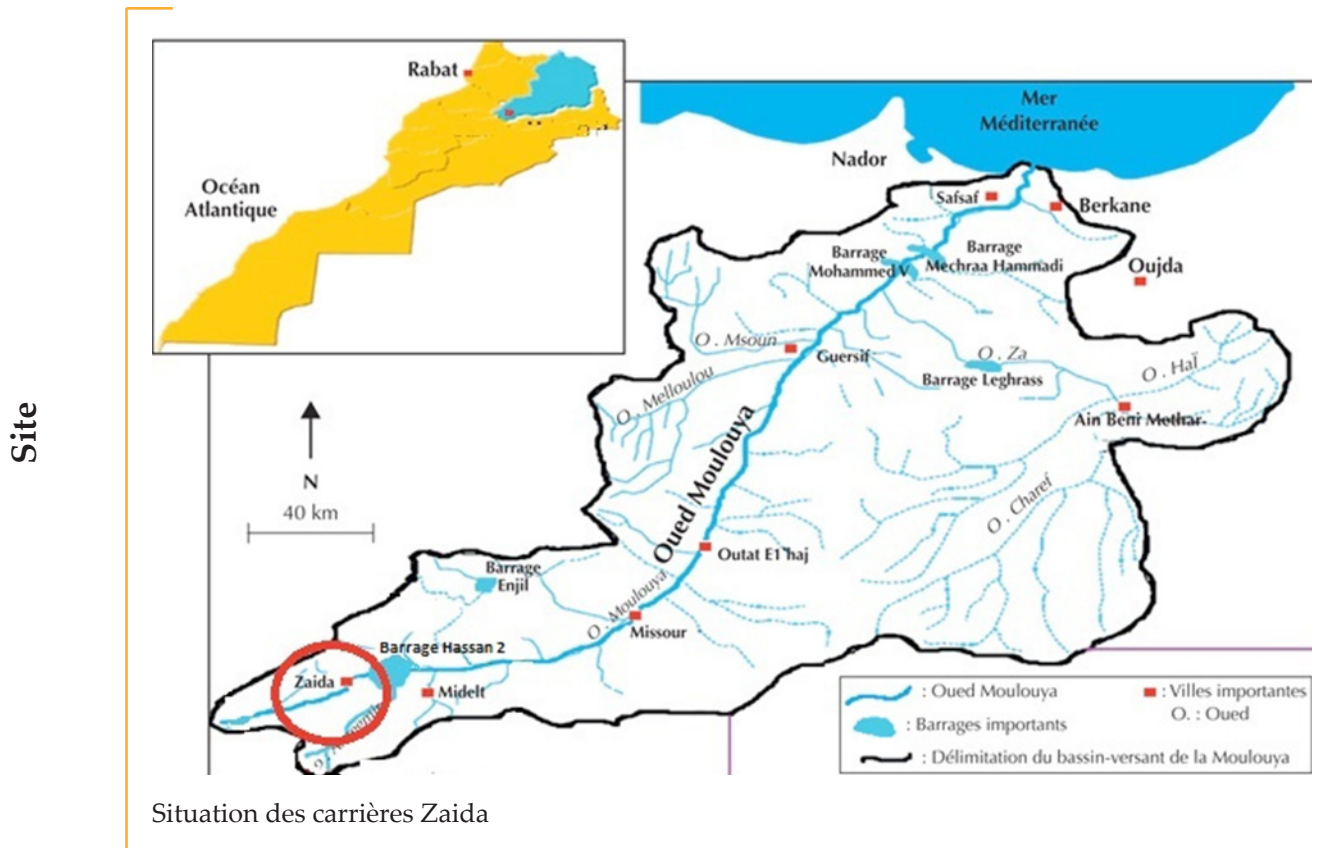
Gérard FILLIPI, ECOTONIA ([ecotonia@orange.fr](mailto:ecotonia@orange.fr))

Henri MICHAUD, Conservatoire Botanique National méditerranéen de Porquerolles  
([h.michaud@cbnmed.fr](mailto:h.michaud@cbnmed.fr))

Marc INGLEBERT, EUROVIA ([marc.inglebert@eurovia.com](mailto:marc.inglebert@eurovia.com))

# 11. Les carrières abandonnées face à la problématique des déchets en zones rurales: Cas des carrières abandonnées de Zaida, Haute Moulouya - Maroc

Lamia Boufaticha<sup>1</sup>, Bouamar Baghdad<sup>1</sup> Et Brahim Soudi<sup>1</sup>



## Objectifs

- La réhabilitation des carrières abandonnées qui deviennent un point d'élimination des déchets communaux;
- L'utilisation du système d'information géographique pour l'analyse des carrières abandonnées dans l'objectif de la réhabilitation de la carrière en décharge contrôlée.

## Principe

- Diagnostic de l'état de gestion des déchets afin de quantifier la production de déchets dans la commune;
- Benchmarking des méthodologies de choix du site pour une décharge contrôlée;
- Analyse multicritères combinée au SIG pour le choix de la carrière la plus appropriée pour abriter la décharge contrôlée;
- Proposition du site répondant aux exigences environnementales et réglementaires pour la mise en place de la décharge.

1. Institut Agronomique et Vétérinaire Hasan II, Rabat, Maroc

Recommandé  
pour  
Limitations

- Limiter l'impact des carrières à ciel ouvert sur l'environnement et sur la sécurité de la population;
- Réhabilitation des carrières abandonnées.

- Une superficie limitée de la carrière abandonnée;
- La profondeur de la nappe phréatique;
- Le coût de la réhabilitation est à prendre en considération après l'analyse multicritères.

**Conditions d'applications** Etude de la réglementation en vigueur pour l'étude du site d'implantation de la carrière.

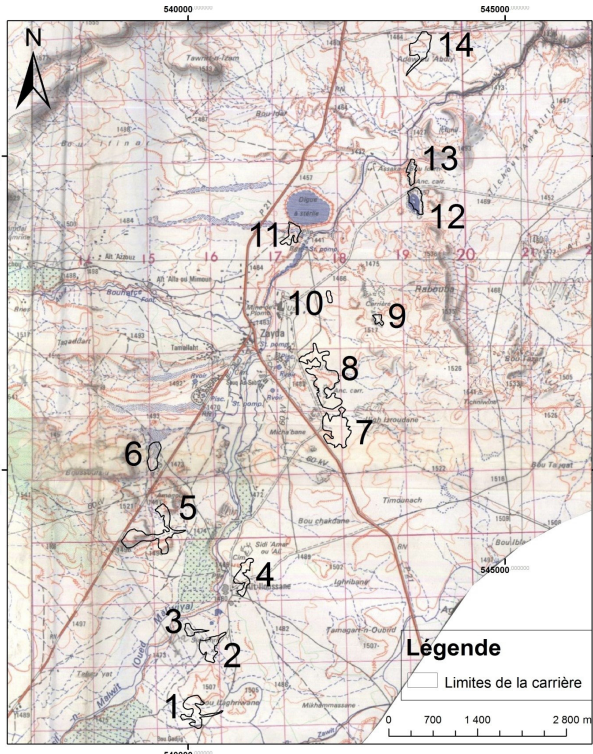
Configuration de la mise  
en œuvre

- Cartographie des carrières abandonnées;
- Elaboration des cartes thématiques (eaux superficielles et souterraines, activité agricole, socio-économie et infrastructures) avec les rayons de sécurité à prendre en considération dans le choix de la carrière à réhabiliter;
- Superposition des cartes thématiques et identification des zones libres;
- Diagnostic approfondi des zones libres en utilisant des critères d'appréciation avancés;
- Choix de la carrière avec des recommandations supplémentaires d'imperméabilisation pour la protection de la nappe phréatique.

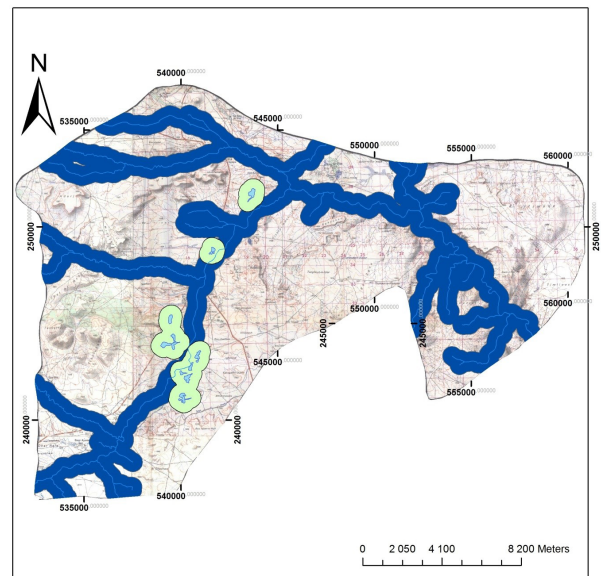


Etat des lieux d'une des carrières abandonnées

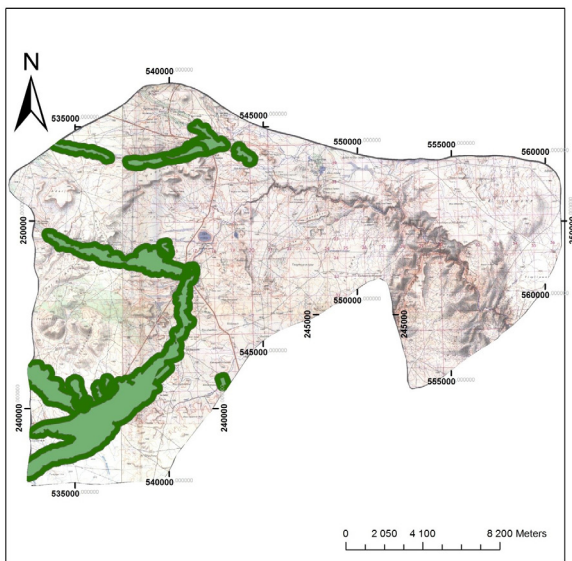




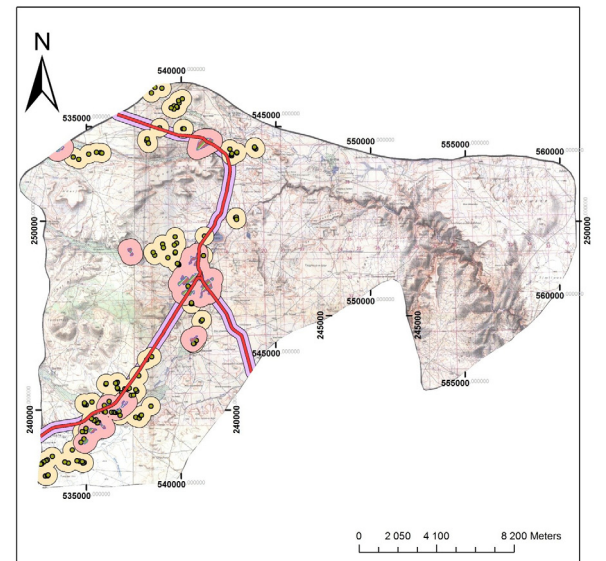
Carte des carrières abandonnées



Carte des ressources en eaux



Carte de l'activité agricole



Carte de la socio-économie et infrastructures

Cartographie des carrières et ressources avoisinantes



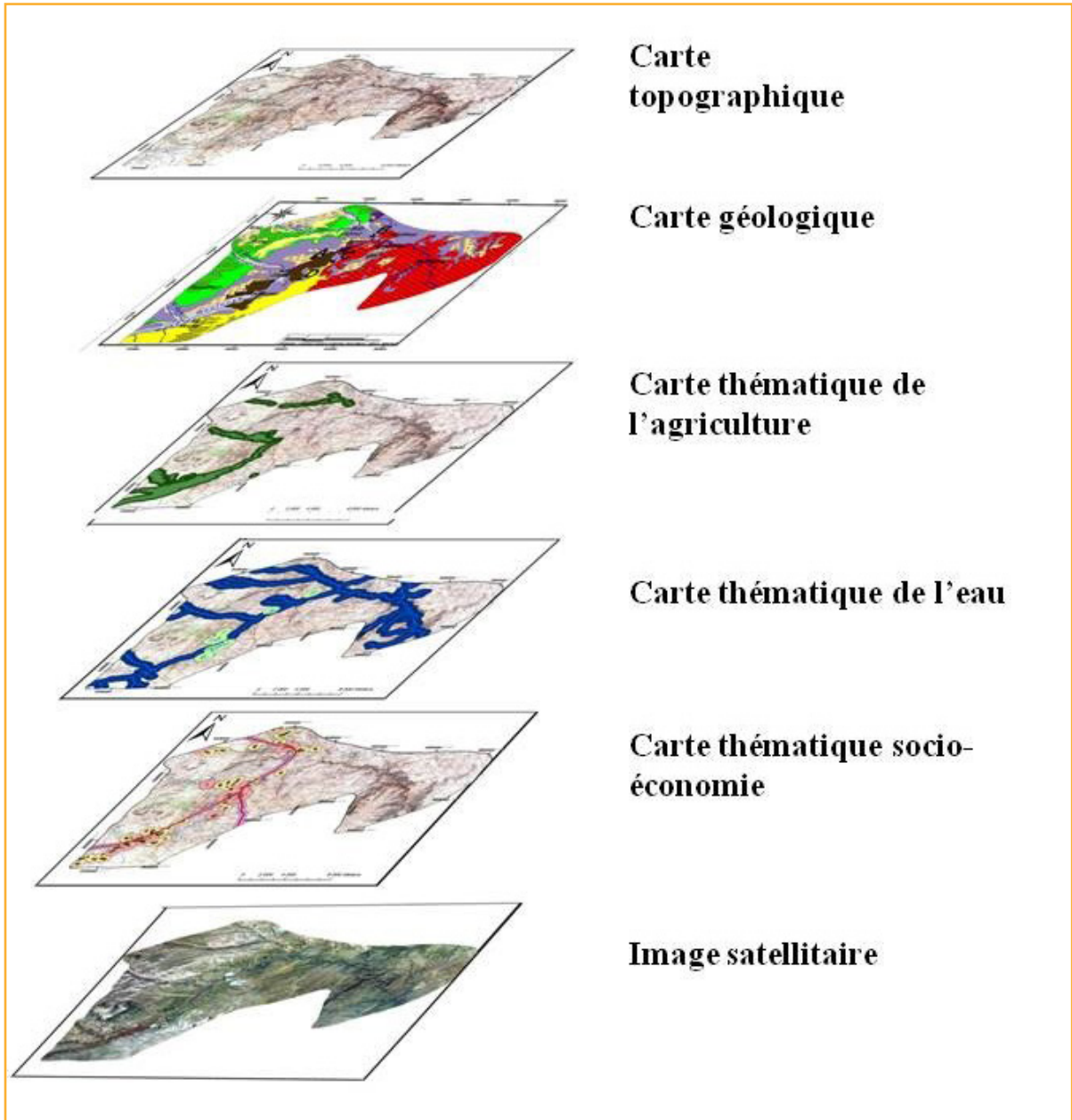
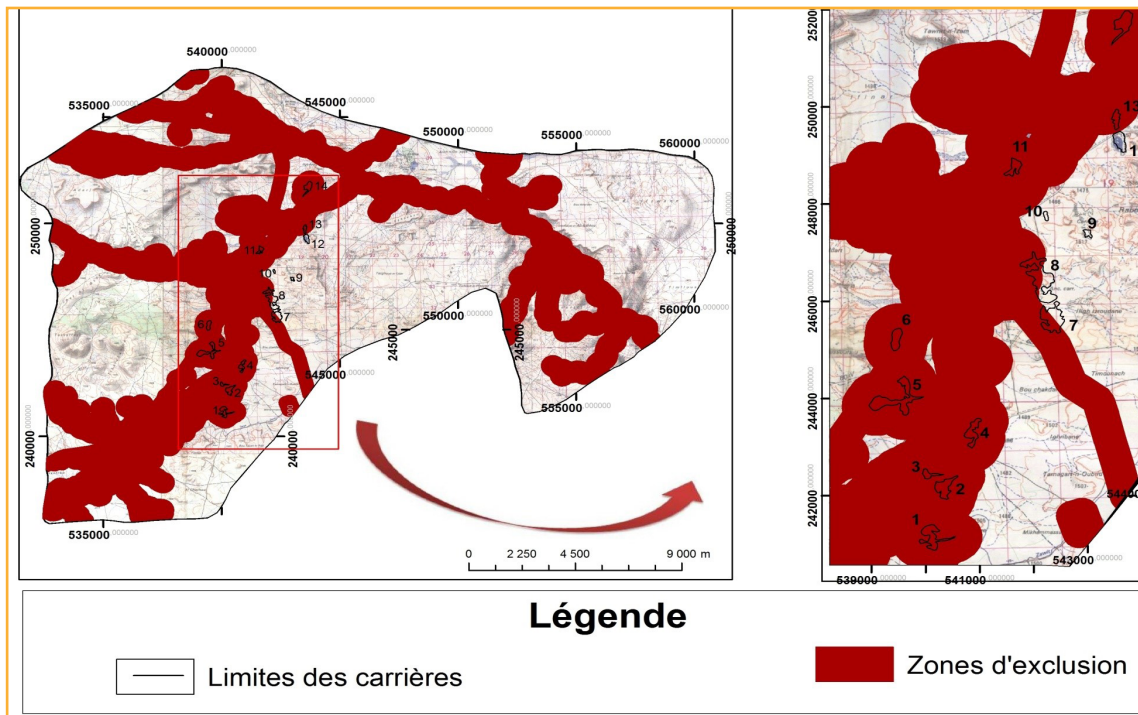


Schéma de superposition des cartes



Carte des zones à exclure

**Points supplémentaires:**

- Parmi les carrières étudiées, deux seulement remplissent les critères pour abriter une décharge contrôlée, cependant elles posent un problème de stagnation des eaux pluviales dans une petite partie de leur surface située en aval d'une faible pente dirigée vers le nord-est de la carrière. Pour remédier à ce problème, il est recommandé d'installer un système de drainage de ces eaux pluviales qui va rencontrer le réseau de drainage des lixiviats, et de mettre en place une haie de plantation autour du site pour diminuer le ruissellement des eaux pluviales;
- Bien que ces sites soient sur un socle arkosique et granitique, les mesures d'imperméabilisation doivent être prises en compte, car ces arkoses présentent des fracturations très importantes qui peuvent entraîner les lixiviats en profondeur et rejoindre la nappe phréatique. Il est proposé que ce socle arkosique soit compacté et recouvert d'un système d'étanchéité artificielle.

**Références**

L. Boufaticha, B. Baghdad and B. Soudi. (2011); Diagnostic de l'état actuel de la gestion des déchets solides et pré-identification des sites potentiels pour une éventuelle décharge contrôlée, Commune Rurale Zaïda (Haute Moulouya-Maroc). Mémoire IAV Hassan II, Rabat, Maroc.

## 12. Réhabilitation en Damier

Carla Khater<sup>1</sup>, Johnny Fenianos<sup>1,2</sup>, Vincent Prevost<sup>3</sup>, Marion Soulairol<sup>3</sup>, Maya Nehme<sup>4</sup>, Karma Bouazza<sup>4</sup>

Site



Carrière d'extraction de sable: Mdoukha, Rachaya, Bekaa, Liban

Objectifs

- Restauration progressive de l'écosystème dégradé par actions d'extraction et de surpâturage (écosystème de référence pelouses mixtes intercalées de patches arborés) permettant de:
  - Protéger
  - Encourager
  - Diversifier
  - Restaurer
- Restauration des paysages de montagnes sèches utilisées par les bergers et le cheptel.
- Impact minimal sur la circulation des bergers et du cheptel lors des activités de réhabilitation.

1. Center for Remote Sensing - National Council for Scientific Research Lebanon, Bir Hassan, Beirut - Lebanon
2. Université Paul Valéry Montpellier III, Laboratoire Epsilon, Montpellier - France
3. Il Y a, Atelier de Paysage, Nîmes - France
4. Lebanese Reforestation Initiative - LRI Lebanon

- Augmenter la biomasse sur le site dans le respect de la composition, richesse et organisation de la biodiversité sur le site.
- «Retissage» des espaces grignotés par le pâturage et l'extraction, par un procédé d'enclos/exclos qui joue un rôle actif dans leur régénération.
- Accompagner et tester les phénomènes naturels favorisant les sols et la végétation.
- Augmenter la présence de l'eau (surface) et sa disponibilité (période).
- Modulable et reproductible, l'expérience pourra être poursuivie sur des espaces voisins au fur et à mesure des besoins en déplaçant le dispositif.

- Homogénéiser les reliefs en cas de topographie plus ou moins accidentée.
- Organiser selon une trame géométrique de poteaux implantés à intervalles réguliers des unités d'environ 200m et les grillager en une série d'enclos/exclos.
- Aménager entre les unités un passage permettant la circulation du cheptel.
- Disposer les quadrats selon les pendages du relief.
- Restituer progressivement les terrains en défens au milieu avec une meilleure capacité de résilience.
- Etablir une rotation entre les quadrats pour respecter la temporalité des différents milieux et réouvrir les espaces progressivement.

Définir pour chacune des unités une identité: Boisement, pierriers, prairies, milieux humides et des unités «laisser faire»

- Boisement: Quadrats plantés de jeunes plants en bosquets/ espacement minimum 1 mètre entre chaque sujet - Temps = 10 ans
  - Pierriers: Blocs épars, organisation des pierres en tas. Le protocole consiste dans la mise en place d'une couverture de pierres de granulométries variées (paillage minéral) - Temps = 4 ans
  - Prairies: Ensemencement par des espèces locales collectées sur place ou dans la région. Plantation d'espèces de prairies initialement présente sur le site. Protection de la pelouse épuisée. Expérimentation de couvre sol (nurse plant) en complément des semis. Paillage biologique (avec de la paille d'espèces sauvages fauchée sur place ou dans les environs). - Temps = 2-4 ans
  - Milieux humides: Préparation du fond de forme. Conserver les points d'eau existants et les renforcer par des plantations et les protéger. Profiter de l'écoulement superficiel sur le site pour guider les trajets de l'eau et favoriser son accumulation en créant des dépressions «points d'eau».- Temps 2 ans
  - Unités «laisser faire»: Évolution naturelle sans intervention- Temps 6- 10 ans
- Possibilité d'annexer des activités d'élevage de ruches



## Recommandé pour

- Site naturel fortement pâturé
- Large superficie
- Importance de permettre le maintien de la présence des bergers et l'accès au cheptel sur le site
- Site à vocation de restauration sous forme de pâturage

## Limitations

- Topographie accidentée et difficulté d'accès au site
- Substrat (absence de matières fines)
- Importance de présence de source d'eau à proximité

## Conditions d'applications

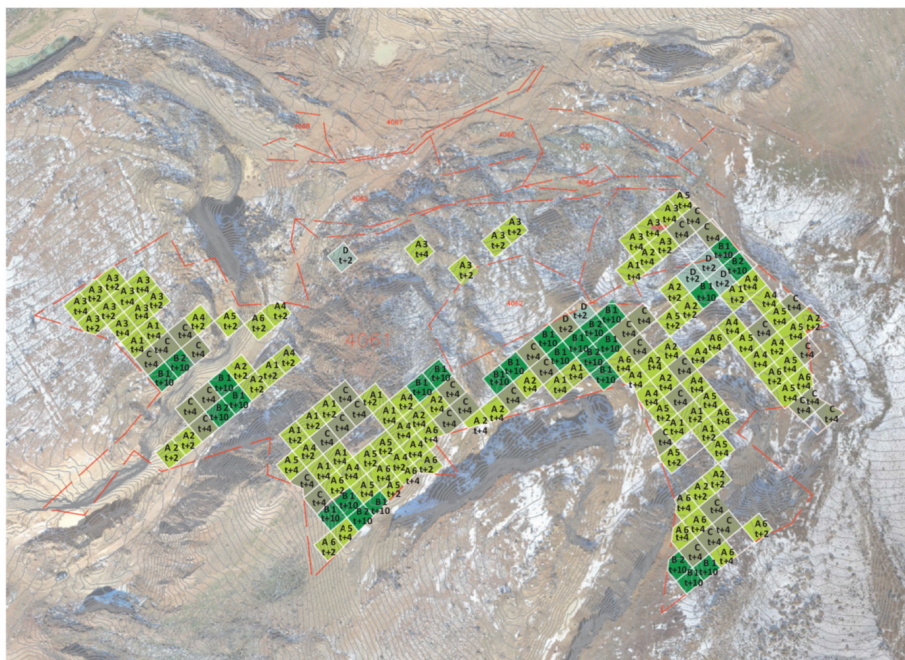
- Réalisation de la mise en œuvre à l'automne (saison des pluies) pour maximiser la reprise de la végétation, notamment les herbacées pérennes
- Besoin de main d'œuvre pour la mise en place des quadrats et des grillages
- Recours à un engin mécanisé pour la création de rigoles et des dépressions pour l'eau

## Configuration de la mise en œuvre

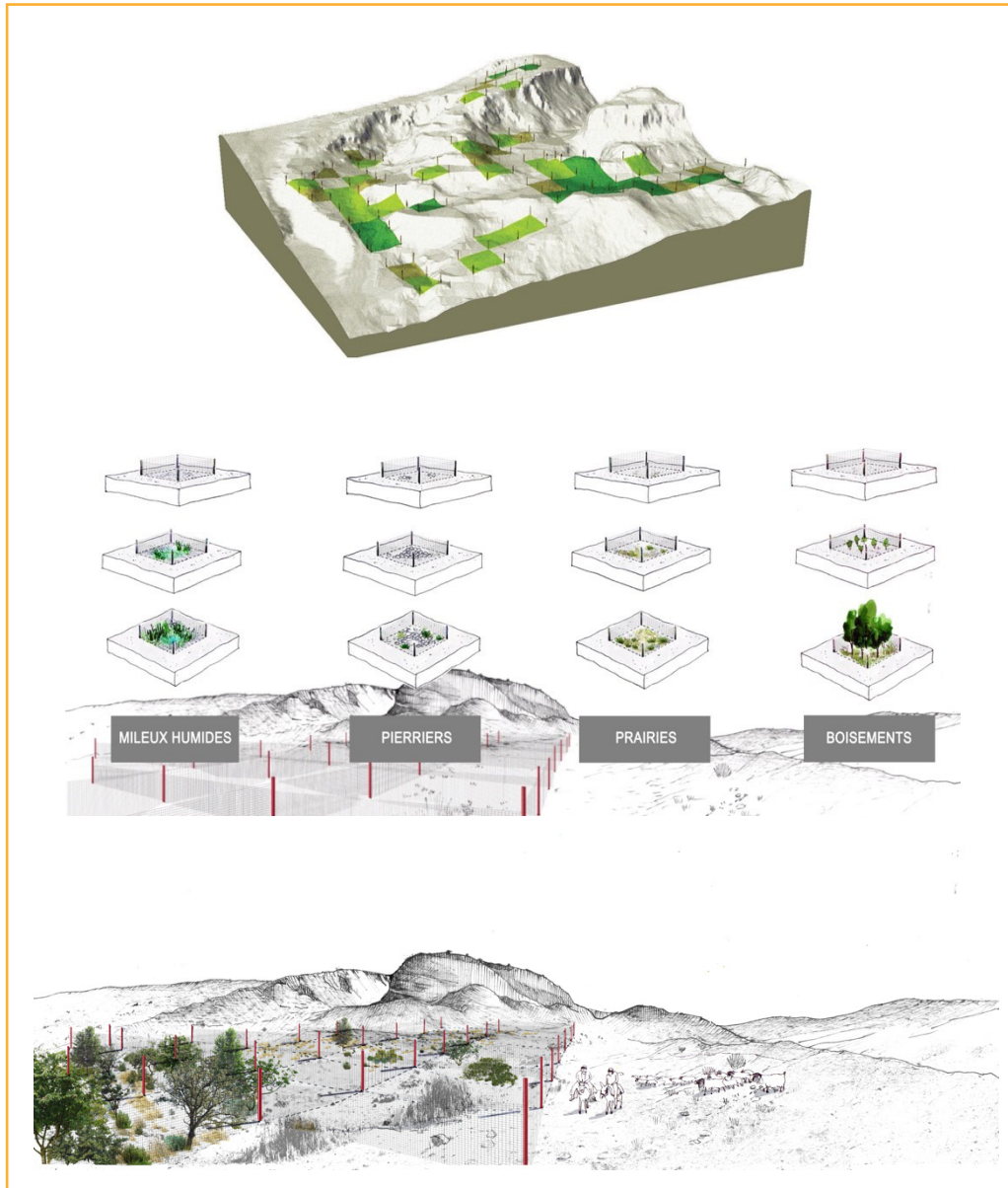
Total de 177 QUADRATS  
17 700 m<sup>2</sup> restauré

- 60 % prairies (107 quadrats)
- 15 % boisements (27 quadrats dont certains seront groupés)
- 5 % wetland (6 quadrats)
- 20 % pierriers (36 quadrats)

MILIEUX		N° DU PROTOCOLE	PAS DE TEMPS
A	Prairie	1	t+2 (2ans)
		2	t+4 (4ans)
		3	
		4	
		5	
		6	
B	Boisement	1	t+10 (10 ans)
		2	
C	Pierrier		
D	Wetland		







**Points supplémentaires:**

- Etudes et design du concept en 2015- 2017
- Mise en oeuvre initiée en Novembre 2018

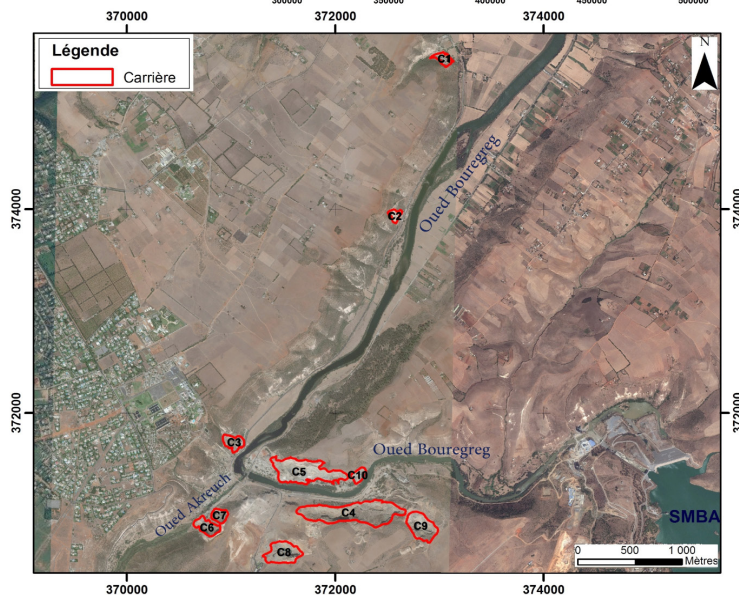
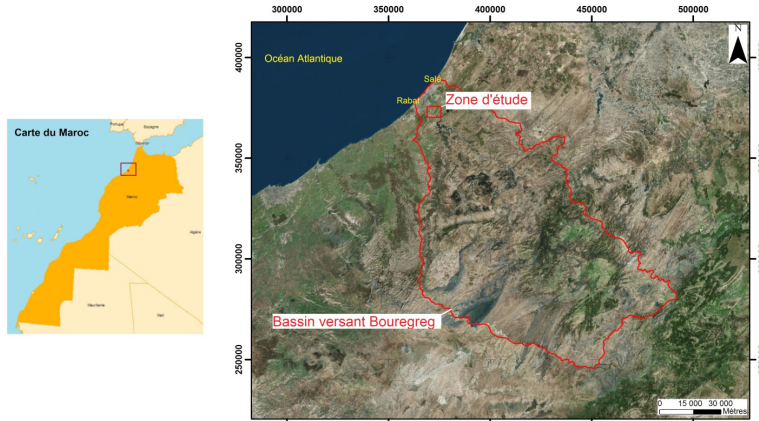
**Références**

Khater, C. and Fenianos, J. (2017). Mdoukha Quarry Site: A landscape in the making. Rehabilitation Concept Report. LRI, USAID.

# 13. La géomatique au service de la réhabilitation des carrières: Cas des carrières abandonnées d'Akreuch, Rabat - Maroc

Meriyem Taoufik<sup>2</sup>, Bouamar Baghdad<sup>1</sup>, Hassan El Hadi<sup>2</sup>, Abdelkader Taleb<sup>1</sup>, Mohammed Yessef<sup>1</sup>

Site



Localisation des carrières

Objectifs

- La réhabilitation ou la restauration des carrières abandonnées dans une perspective de protection de l'environnement;
- L'étude de la synergie entre les Systèmes d'Informations Géographiques et l'analyse multicritère pour la réhabilitation des carrières.

1. Institut Agronomique et Vétérinaire Hasan II, Rabat - Maroc  
2. Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II, Casablanca - Maroc

## Principe

- Le recensement des différentes contraintes locales, réglementaires, techniques, environnementales et socio-économiques qui gravitent autour de la réhabilitation des carrières;
- L'exploitation des SIG et de la télédétection pour la réhabilitation des carrières abandonnées dans la région d'Akreuch, Rabat - Maroc;
- Le développement d'une méthodologie multicritères d'aide à la décision;
- L'analyse des résultats obtenus par cette méthodologie et la proposition des différentes solutions de réhabilitation.

## Recommandé pour

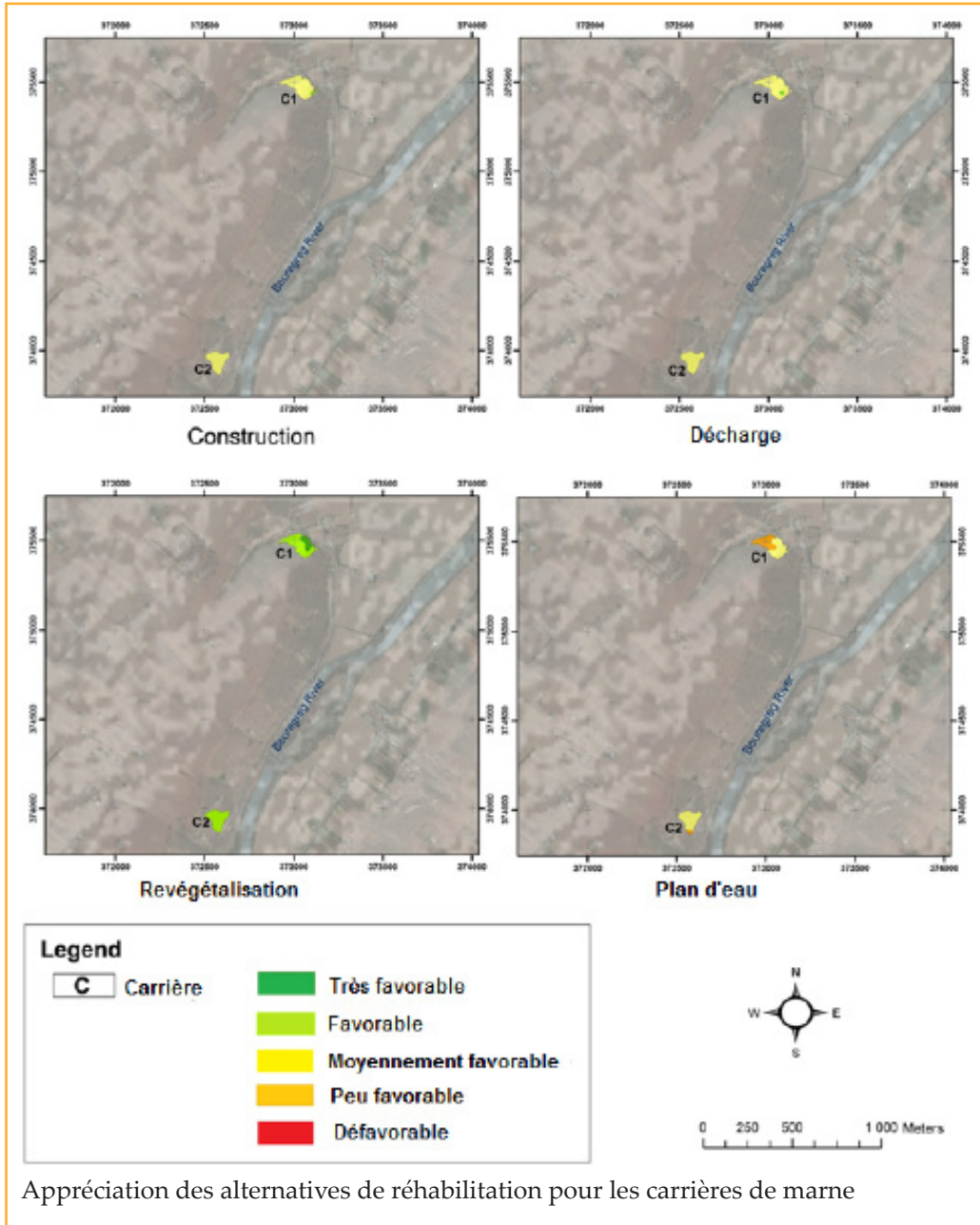
- Limiter l'impact des carrières à ciel ouvert sur l'environnement et sur la sécurité de la population;
- Réhabilitation par revégétalisation, plan d'eau, site de décharge ou construction.

## Limitations Conditions d'applications

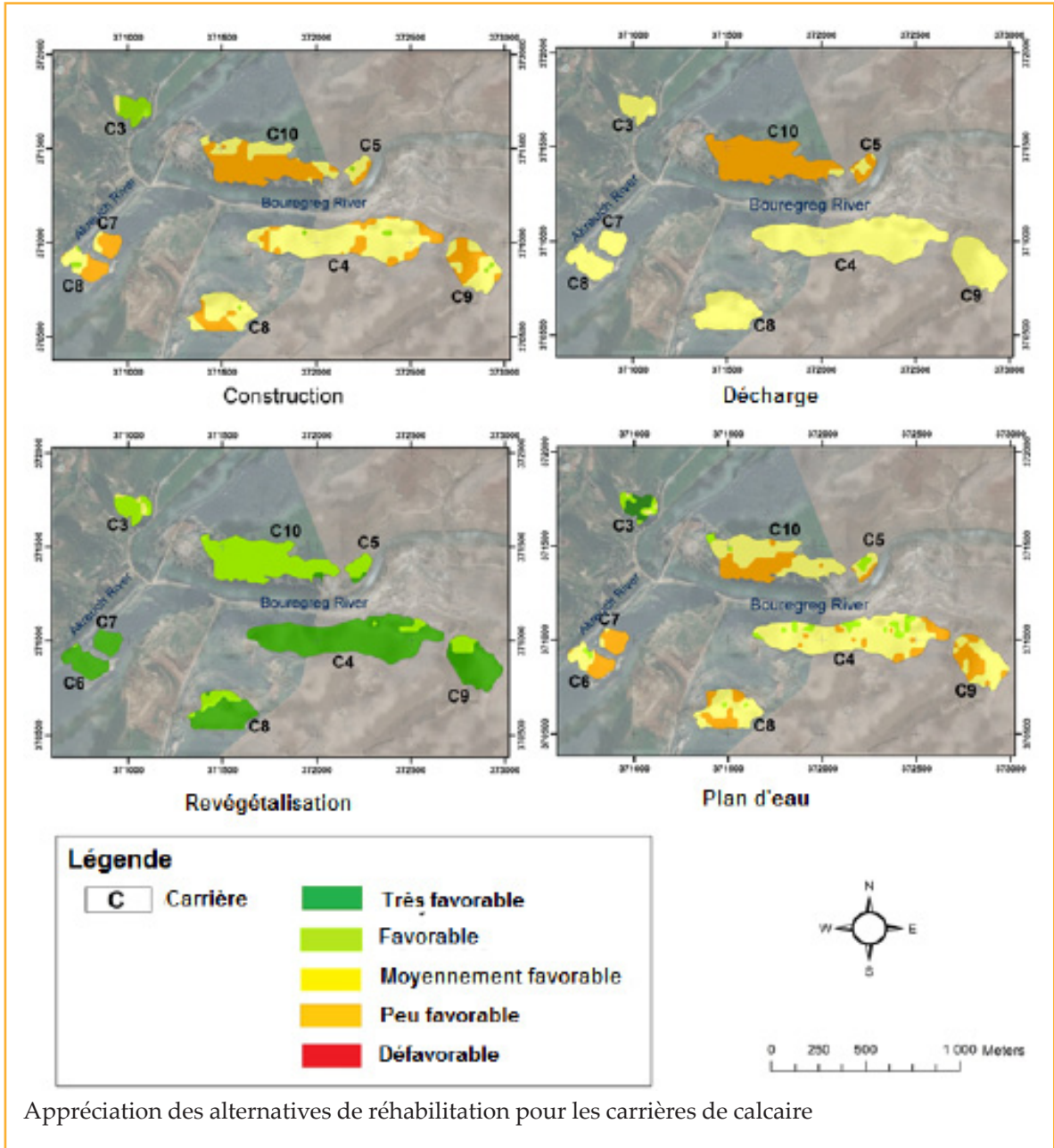
- 4 alternatives sont proposées pour la réhabilitation des carrières;
- Etude limitée aux carrières à ciel ouvert;
- Le coût de la réhabilitation est à prendre en considération après l'analyse multicritères.

## Configuration de la mise en oeuvre

- Etude de la réglementation en vigueur pour la limitation des zones de servitudes (Carrières, Urbanisme, Eau, Environnement, Conservation des monuments historiques, Aéronautique Civile, Chemins de fer, Autoroutes, Servitudes Militaires, Cimetières...)
- Création d'une base de données géographiques;
- Traitement des données;
- Evaluation des critères;
- Standardisation des critères;
- Calcul des poids des critères;
- Evaluation multicritères;
- Analyse des résultats.

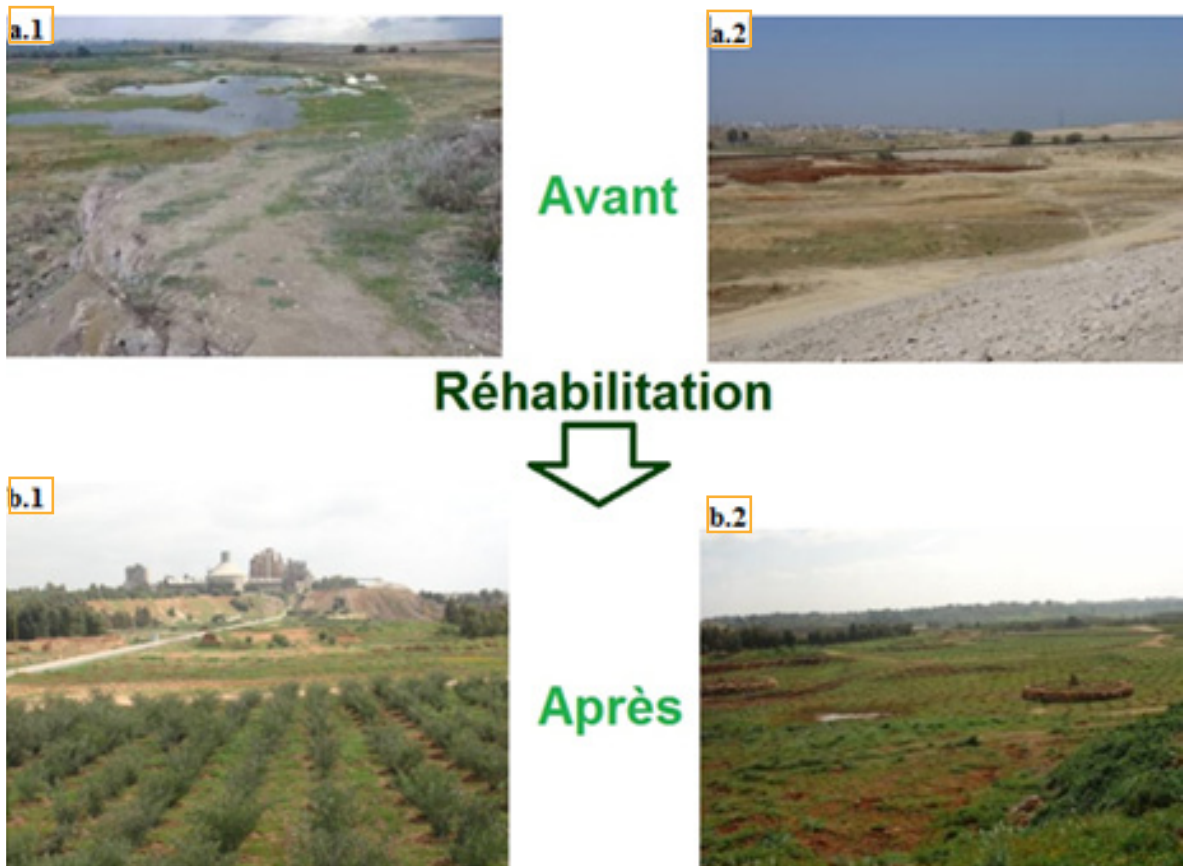








Exemple: Carrière réhabilitée de Bouskoura, Lafarge - Maroc



Exemple: Réhabilitation de la carrière de calcaire de Meknès, Lafarge - Maroc

a.1, a.2: La carrière après l'exploitation

b.1, b.2: La carrière réhabilitée

**Points supplémentaires:** L'étude concerne 2 carrières de marne et 8 carrières de calcaires situées à quelques mètres d'Oued Bouregreg et son affluent Akreuch.

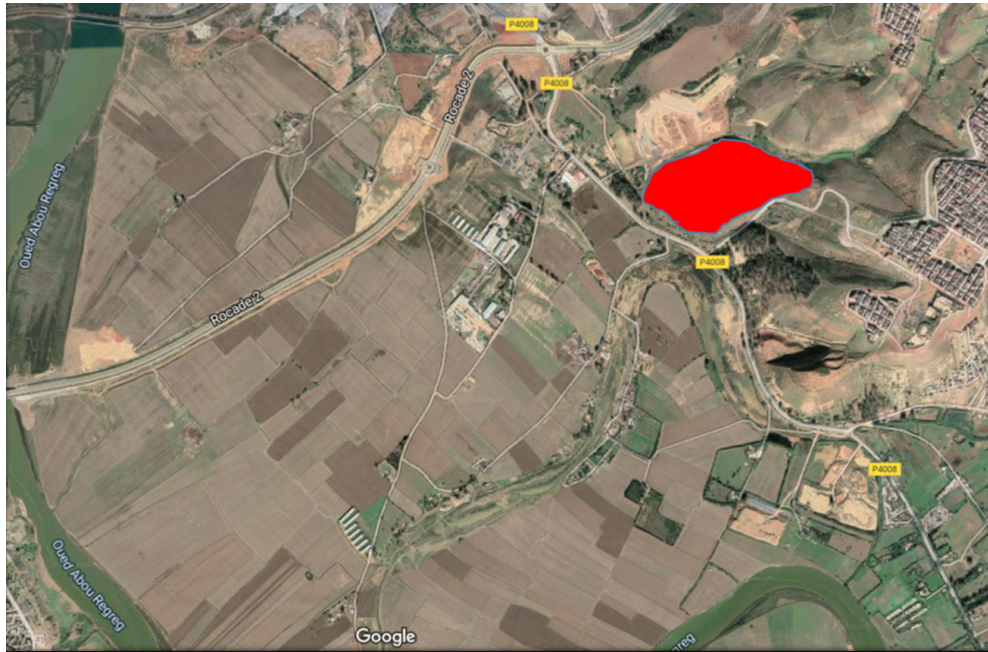
## Références

M. Taoufik, B. Baghdad, H. El Hadi And M. Laghlimi. (2016); GIS and Remote Sensing applications for abandoned quarries rehabilitation: A case study in the Akreuch Region, Rabat, Morocco. *Int. J. of Adv. Res.* 4 (7). 1284-1303 (ISSN 2320-5407)

# 14. Phytostabilisation des décharges en carrières après réhabilitation

Meriem Laghlimi<sup>1</sup>, Bouamar Baghdad<sup>1</sup>, Abdelkader Taleb<sup>1</sup> et Mohamed Yessef<sup>1</sup>

Site



Situation de la décharge restaurée d'Oulja

Objectifs

- Limiter les phénomènes d'érosion des matériaux terreux constituant la couverture des déchets;
- Minimiser les entrées d'eau dans le massif des déchets;
- Limiter la migration des contaminants vers les autres composantes de l'environnement;
- Intégration du site de la décharge dans le paysage.

1. Institut Agronomique et Vétérinaire Hasan II, Rabat - Maroc



## Principe

- L'absorption par les racines ainsi que l'évapotranspiration des parties aériennes (tiges et feuilles) des eaux de pluies permettent de minimiser l'infiltration de ces eaux dans le massif des déchets sous-jacents.
- L'enracinement de la couche de couverture des déchets minimise les phénomènes d'érosion.

## Recommandé pour

- Décharges sauvages réhabilitées;
- Décharges contrôlées en cours d'exploitation et après fermeture.

## Limitations

Les facteurs potentiels limitant l'établissement et la croissance de la végétation sur les décharges sont:

- Sol: i) Etat physique (compaction, profondeur, texture),  
ii) Etat chimique (nutriment, contamination)  
iii) Matière organique et activité biologique.
- Conditions climatiques: Engorgement, sécheresse...
- Entretien: Contrôle des adventices, protection contre le pâturage, protection contre la destruction, préparation du sol et fertilisation;
- Autres facteurs: Epaisseur de la couverture et perméabilité, lixiviats et biogaz, type des déchets (stables ou évolutifs).

## Conditions d'applications

1. Adapter le choix du matériel végétal au confinement final de la décharge, principalement nature des matériaux de couverture des déchets et leurs épaisseurs;
2. Le tableau ci-dessous indique le type de végétation à choisir en fonction de la couche de couverture et de la profondeur moyenne de prospection du chevelu racinaire des plantes.

Types de végétation	Epaisseur de la couche de couverture des déchets	Conditions nécessaires du site
Graminées	0.3 m	- Eviter tout contact entre les plantes et les déchets; - Surveiller la toxicité du biogaz dégagé; - Installer un système de captage et de traitement du biogaz en cas de risque.
Légumineuses	≥ 1m	
Arbres et arbustes avec enracinement latéral	1 – 2 m	
Arbres et arbustes avec enracinement profond	4 m	

4. Afin d'optimiser les chances de réussite de l'établissement d'un couvert végétal pérenne, il faut choisir des plantes:

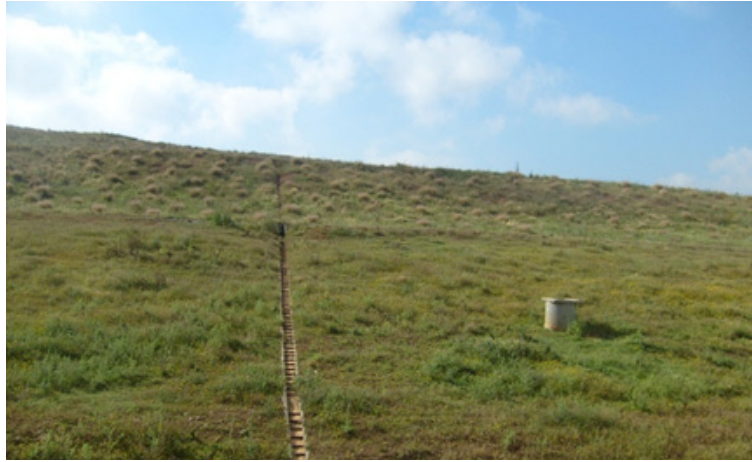
- Adaptées aux conditions climatiques et édaphiques du site;
- Capables de lutter contre l'érosion du sol;
- Résistantes à la compétition et ayant la capacité d'enrichir et d'améliorer la qualité du sol.

5. Pendant les premières années qui suivent la réhabilitation, les herbacées sont considérées comme la végétation la plus adaptée du fait qu'elles tolèrent les sols pauvres, améliorent la structure du sol et fournissent une couverture toute l'année.

Les principales actions du programme de réhabilitation d'une décharge sont:

- Création d'une digue périphérique à l'aide de matériaux argileux disponibles aux alentours du site
- Déplacement des déchets conformément au plan de reprofilage;
- Remodelage des déchets en 2 talus, avec une pente de 5% pour le premier et de 1/3 pour le deuxième;
- Mise en place d'un réseau de drainage des eaux pluviales par la création de fossés de collectes de ces eaux de forme trapézoïdale;
- Régalage et nivelage d'une couche de matériaux argileux sur une épaisseur de 1m surmontée d'une couche de terre végétale de 30cm;
- Mise en place d'un réseau de drainage pour la collecte du lixiviat. Le lixiviat collecté est pompé et transféré vers une décharge contrôlée où il subit un traitement par osmose inverse;
- Intégration paysagère du site de la décharge à travers la végétalisation.





Photos de la décharge de l'Oulja, Salé - Maroc après végétalisation

**Points supplémentaires:** N/A

## Références

Laghlimi, M., Baghdad, B., and Taleb, A. (2011). Contribution à l'identification des techniques de végétalisation des décharges adaptées au contexte marocain. Projet de fin d'étude, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 107 p.

## 15. Contexte de l'exploitation des carrières au Liban

Le Liban, qui est naturellement riche en formations rocheuses, calcaires ou de sables, connaît une activité intense d'extraction à des fins de constructions et de fabrication de matériaux. Cette activité soutenue et le grand nombre de carrières présentes sur le territoire libanais ont un impact considérable sur l'environnement et l'entièreté de ce secteur souffre d'un manque flagrant d'organisation.

### 1. Les textes préliminaires

La première législation en matière d'exploitation des carrières au Liban est la loi No. 253 / LR, adoptée en 1935, qui définit une carrière comme un réservoir naturel de matériaux utilisés pour tous types de construction, à l'exception des sables et graviers extraits des cours d'eau ou des plages du littoral. Cette loi donne autorité au département des Mines.

Ce n'est que cinquante ans plus tard, et après la création en 1981 d'un ministère d'Etat pour les Affaires environnementales, que la législation régulant l'exploitation des carrières a commencé à se développer.

En 1983, la Loi de Régulation Civile No.69 a été adoptée. Cette loi prévoyait que l'exploitation d'une carrière devait être soumise à l'obtention d'une licence et au respect de différentes réglementations, qui devaient être déterminées par le Directeur général de la Régulation civile, dans le cadre d'un décret publié par le Conseil des ministres. Cette loi prévoyait également l'obligation, pour l'investisseur d'une exploitation de carrière, de réhabiliter les lieux impactés par l'extraction, notamment en reboisant le site.

Toutefois, ce décret reprenant des réglementations n'a pas été publié avant 2002 et, pendant 19 ans, l'application de la loi est, dès lors, restée en suspens.

En 1993, le ministère, qui était devenu la même année le « Ministère de l'Environnement », a été chargé de déterminer les différentes conditions environnementales à respecter afin que les exploitants de carrière puissent obtenir une licence. C'est dans ce cadre que le Décret no. 5616 a vu le jour, mais il est resté lettre morte jusqu'en 2002, date à laquelle il a été annulé en raison de la promulgation d'un nouveau décret N°8803 qui organise l'investissement des carrières et des concasseurs.

A partir de 1997, c'est le ministère de l'Environnement qui a pris le pas sur celui de l'Intérieur pour gérer l'attribution de licences d'exploitation. Il a alors publié une série de décisions concernant les procédures et conditions d'obtention de licences, qui étaient alors limitées à cinq ans. En 1997, un plan général de gestion des carrières a été développé par le directeur général de la légalisation civile avec Dar El Handasah

Le 26 juillet 2002, le Parlement libanais ratifie la Loi 444, appelée «Loi pour la Protection de l'Environnement» qui établit les principes généraux de la protection de l'environnement au Liban. Cette loi définit notamment les responsabilités et sanctions en matière d'utilisation ou abus des ressources environnementales.

### 2. Le décret No. 8803 de 2002

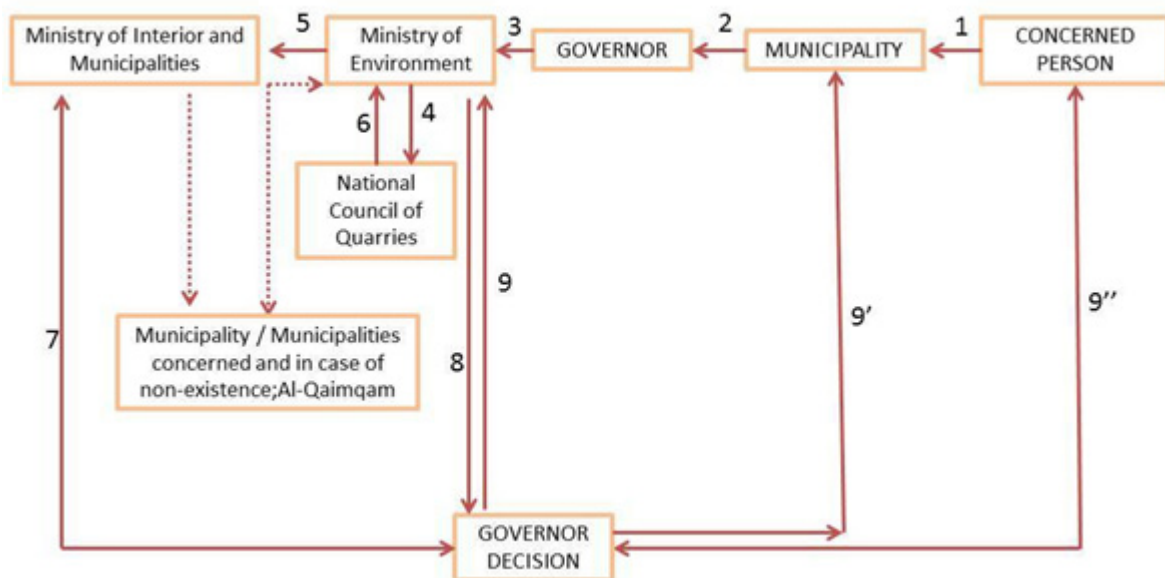
La même année, le décret No. 8803 sur l'organisation des carrières et les concasseurs est publié. Ce texte établit, au sein du ministère de l'Environnement, le Conseil national des carrières (voir point 3), qui doit devenir la référence, au niveau de l'Etat libanais, à ce sujet. Cette autorité est chargée de



déterminer les conditions générales qui doivent être respectées, en matière de techniques utilisées et sécurité environnementale, par les exploitants des carrières de sables, de graviers, de pierres. Jusqu'à présent le ministère a déjà publié une dizaine des décisions ministérielles relatives au propre investissement des carrières dans la gazette officielle pour fin utile.

### 2.1. L'attribution des licences d'exploitation

Selon ce décret, la demande de licence par l'exploitant doit être soumise au gouverneur (mohafez) de la région où sera situé le site d'extraction, qui se référera par la suite au Conseil national des carrières, qui fournira une copie de la demande de licence au ministère de l'Intérieur et des municipalités qui, à son tour, la transmettra aux municipalités concernées ou, en l'absence de municipalité, au Qaïmaqam du lieu, afin de donner l'autorisation d'exploitation. La décision concernant l'émission du permis sera prise, selon ce décret, par le Conseil national des carrières. Le texte du décret régle également toutes les opérations liées à l'exploitation des carrières et concasseurs qui se font hors-site (transport, traitement des matériaux). Ce décret est le seul texte législatif au niveau national qui organise ce secteur. Alors que le conseil national des carrières approuve les dossiers d'application des carriers et concasseurs conformément à la législation et procédures etc.... L'attribution des permis reste toujours sous le mandat et l'autorité du gouverneur.



**Figure 1:** procédure de demande et attribution de licences pour l'exploitation de carrières sur le territoire libanais (Ministère de l'Environnement, décret No.8803/2002 et amendements)

Le dossier à présenter, selon ce décret, doit notamment contenir une description de la nature des matériaux extraits du site, leur type géologique, la surface de l'exploitation, l'épaisseur des différentes couches à exploiter, le volume total des matériaux extraits, les limites annuelles d'extraction, l'emplacement des différentes installations sur le site, les principales caractéristiques topographiques de ce site, et une étude d'impact de l'exploitation sur l'environnement. Cette étude doit inclure: une description du site, des ressources naturelles qui y sont présentes et des zones

agricoles, forestières, maritimes l'entourant, avant le lancement de l'exploitation, un relevé des infrastructures environnantes (touristiques, routes, ponts et autres installations) et une analyse de l'impact du projet sur l'environnement (sur le paysage, les éventuels sites archéologiques et touristiques, les forêts, la faune et la flore, l'équilibre biologique et l'eau). Cette étude doit également mentionner de façon précise les techniques utilisées pour l'extraction, notamment l'utilisation éventuelle d'explosifs et les mesures de protection utilisées pour limiter l'impact environnemental de ces techniques. Enfin, cette étude doit envisager les séries de mesures prises par l'exploitant pour réhabiliter le site pendant et après l'exploitation, les mesures permettant de protéger le sol, et un engagement écrit, de la part de l'exploitant, à respecter les mesures de protection de l'environnement et de réhabilitation conditionnant l'obtention de sa licence.

## **2.2. La supervision des exploitations et les sanctions en cas d'infractions**

Selon le décret 8803, le Conseil national des carrières a autorité pour vérifier le respect des réglementations établies par les exploitants et investisseurs et, notamment, les mesures de réhabilitation mises en place. Le texte ne précise toutefois pas les instruments et moyens mis à la disposition du Conseil pour effectuer cette supervision. De plus, ces prérogatives sont également attribuées, selon le décret No. 4082 organisant les missions du ministère de l'Intérieur et des municipalités, au département des carrières au sein du Directeur général des administrations locales de ce ministère.

Le gouverneur (mohafez) peut également, de sa propre initiative ou sur ordre du Conseil national des carrières, se charger de la supervision des procédures de réhabilitation mises en place et a le droit de définir les délais accordés à l'exploitant pour la mise en œuvre de telles procédures.

Dans le cadre de cette supervision, des sanctions peuvent être infligées aux exploitants ne respectant pas les réglementations en vigueur. S'il est prouvé qu'une exploitation viole la législation, il lui sera interdit de renouveler sa licence pendant au moins cinq ans. Le gouverneur peut également, de sa propre initiative ou sur décision du Conseil national, décider de suspendre l'exploitation en cas de violation des conditions de sa licence.

Si un exploitant travaille sans licence, après expiration de sa licence ou après la décision prise par les autorités de suspendre temporairement ou mettre un terme à l'extraction, il est susceptible d'être condamné à une peine d'emprisonnement allant de deux mois à un an, et au paiement d'une amende pouvant aller de 50 à 100 millions de livres libanaises. S'il persiste dans son infraction, les sanctions sont doublées, le matériel de l'exploitant peut être confisqué et il peut être condamné à réhabiliter le site à ses propres frais.

## **2.3. La garantie financière**

Le décret No.8803 prévoit par ailleurs le paiement par l'exploitant d'une garantie financière lors de l'octroi de sa licence d'exploitation, qui constitue « une garantie pour le respect des conditions environnementales et son devoir pour établir le site exploité selon les normes de réhabilitation et restauration qui font partie de l'accord du conseil national des carrières ». Le Conseil national des carrières fixe le montant et la forme de paiement de cette garantie, qui est perçue par le ministère des Finances à l'attention de la Caisse autonome des municipalités ou du Trésor, si le site se situe en dehors des limites municipales. Cette garantie ne sera pas ou ne sera que partiellement rendue à l'exploitant s'il ne respecte pas le programme de travail et de réhabilitation prévu dans le dossier d'attribution de sa licence.

## 2.4. La délimitation des zones d'exploitation

Enfin, le décret No. 8803 délimite les zones du territoire au sein desquelles les carrières sont autorisées selon un schéma directeur conçu pour les carrières au Liban.

En 2006, un amendement du décret No. 8803, le décret No. 16456, interdit l'exploitation de carrières de tous types sur des terrains appartenant à des zones protégées ou considérées comme sites naturels, et à moins de 500 mètres d'un cours d'eau. Ce décret oblige également l'exploitant à employer un ingénieur chargé de tout le travail d'exploitation et du respect des réglementations en vigueur. Cet ingénieur est également responsable de faire parvenir un rapport trimestriel au ministère de l'Environnement.

En 2009, un nouvel amendement du décret No. 8803, le décret No. 1735, ajoute sept nouvelles zones aux quatre zones prévues en 2002 pour l'exploitation de carrières, de même que cinq nouvelles zones pour les carrières de sable.

## 3. Le Conseil national des carrières

### 3.1. Composition

Ce Conseil, établi par et au sein du ministère de l'Environnement, est dirigé par le ministre ou, en l'absence du ministre, par le Directeur général du ministère. Différentes institutions étatiques sont représentées au sein de ce Conseil:

- 1) Le directeur général de l'Organisation civile du ministère des Travaux publics et des Transports;
- 2) Le directeur général des administrations et conseils locaux du ministère de l'Intérieur et des Municipalités;
- 3) Le ministère de l'Energie et de l'Eau;
- 4) Le ministère de la Santé publique;
- 5) Le ministère de la Défense National;
- 6) Le directeur des Finances publiques du ministère des Finances;
- 7) Le directeur du Développement rural du ministère de l'Agriculture;
- 8) Le directeur général des Antiquités du ministère de la Culture.
- 9) Le directeur général de l'industrie – Ministère de l'industrie

### 3.2. Fonctions

Le Conseil national des carrières a été créé par le décret # 922/2002 et a, en plus des prérogatives qui lui sont attribuées dans le décret 8803/2002, les fonctions suivantes:

- 1) Déterminer les conditions générales pour l'établissement de carrières et les modifier en fonction des avancées techniques et des concepts de sécurité environnementales, avec la possibilité d'imposer des conditions spécifiques à chaque licence attribuée, en fonction des exigences du projet concerné;
- 2) Accepter ou rejeter les demandes d'établissement et d'exploitation de carrières et, lors de la procédure de vérification des demandes, mener toute enquête nécessaire;
- 3) Déterminer le montant de la garantie financière demandée à l'exploitant d'une carrière;
- 4) Proposer des mesures appropriées pour toutes les opérations hors-site de l'exploitation de carrières et mettre un terme aux opérations violant les réglementations en vigueur;
- 5) Superviser le respect par les investisseurs et exploitants de carrières des réglementations en

vigueur et des conditions de leur licence;

6) Vérifier la bonne mise en œuvre de la réhabilitation des sites pendant et après leur exploitation, conformément aux conditions établies lors de l'attribution de la licence et aux principes environnementaux.

#### **4. Le département de Protection des ressources naturelles**

Le cadre de travail du département de Protection des ressources naturelles, établi au sein du ministère de l'Environnement, est régi par le décret No. 2275, publié en 2009, qui organise les différents services/départements/unités au sein du ministère.

Selon le décret No. 2275, le département de Protection des ressources naturelles est responsable de:

- 1) La préparation des stratégies, plans, programmes, projets, activités et étude liés à la gestion durable des ressources territoriales non-vivantes (eau et terrains) et le suivi de leur mise en œuvre;
- 2) La définition des conditions environnementales liées à toute décision du ministère de l'Environnement en ce qui concerne les demandes de construction et / ou permis d'investissement pour l'exploitation des ressources territoriales non-vivantes et l'utilisation des matériaux bruts (et, donc, dans le cas de l'attribution de licences pour l'exploitation de carrières). Le suivi du respect de ces conditions;
- 3) La protection des ressources naturelles territoriales non-vivantes dans certains écosystèmes (comme les sommets montagneux);
- 4) La définition des conditions environnementales liées à toute décision du ministère de l'Environnement en ce qui concerne la régulation de l'utilisation de terrains de tous types et la gestion des ressources naturelles présentes dans certains environnements, comme les sommets montagneux, les zones entourant des sources, lacs et marais, les vallées et le littoral;
- 5) La définition des valeurs de référence pour mesurer la qualité de l'eau dans les sources, lacs, marais, rivières et sur le littoral;
- 6) La préservation de la qualité des territoires et la lutte contre la désertification, l'érosion des sols et la pollution;
- 7) La définition des valeurs de références pour mesurer la qualité du sol.

#### **5. La réhabilitation des carrières**

Le décret 48/1 du 17 juin 2009 établit les procédures à mettre en œuvre pour assurer la réhabilitation des sites d'extraction sur le territoire libanais. Cette décision prévoit le mécanisme d'attribution de licences pour la réorganisation et réhabilitation de carrières désaffectées qui ont été exploitées avant la publication du décret 8803/2002.

Entre autre le ministère prévoit la sortie d'une législation au niveau nationale qui permet de donner aux investisseurs l'option de réhabiliter leurs sites dégradés et des restores d'une façon durable ou par l'adoption d'autre scénario de réhabilitation selon les spécificités du site "Lac, Réservoirs, Cours, Site touristique etc..."



## VII. Références



## Références

1. Al-Handasah, D. (1996). A nation-wide study of quarries. *Ministry of Public Works, Beirut*.
2. Assessment, M. E. (2005). Ecosystems and human well-being (Vol. 5). *Washington, DC: Island press*.
3. Atallah, A. (2018). Relever sur base de photographies aériennes Bing.
4. Benoit G. et Comeau A., (dir.), (2005), Méditerranée, les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. *Éditions de l'Aube et Plan Bleu, diffusion Seuil*.
5. Blondel, J. (1995). Biogéographie: approche écologique et évolutive. *Masson*.
6. Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J. Y., & Boeuf, G. (2010). The Mediterranean region: biological diversity in space and time. *Oxford University Press*.
7. Bradshaw, A. (2000). The use of natural processes in reclamation—advantages and difficulties. *Landscape and urban planning*, 51(2-4), 89-100.
8. Bulot, A., Potard, K., Bureau, F., Bérard, A., & Dutoit, T. (2017). Ecological restoration by soil transfer: impacts on restored soil profiles and topsoil functions. *Restoration Ecology*, 25(3), 354-366.
9. Carrick, P. J., & Krüger, R. (2007). Restoring degraded landscapes in lowland Namaqualand: Lessons from the mining experience and from regional ecological dynamics. *Journal of Arid Environments*, 70(4), 767-781.
10. Cauchetier, B., Huybrechts, E., Thibault, C., & Liban. (1999). Évaluation environnementale de la Côte du Liban: Rapport thématique "planification". *Paris: IAURIF*.
11. CBD (1992). Convention on Biological Diversity, Rio de Janeiro, Argentina. Convention on Biological Diversity, <http://www.biodiv.org/convention/>.
12. CESE, C. E. (2014). Projet de loi n°27-13 relative à l'exploitation des carrières: Avis du Conseil Economique, Social et Environnemental. Saisine n° 12/2014.
13. Correia, O., Clemente, A. S., Correia, A. I., Máguas, C., Carolino, M., Afonso, A. C., & Martins-Loução, M. A. (1970). Quarry rehabilitation: a case study. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 46.
14. Couvet, D., & Teysseire-Couvet, A. (2010). Écologie et biodiversité: des populations aux socioécosystèmes. *Belin*.
15. Damigos, D., & Kaliampakos, D. (2003). Assessing the benefits of reclaiming urban quarries: a CVM analysis. *Landscape and urban planning*, 64(4), 249-258.
16. Darwish, T., Khater, C., Jomaa, I., Stehouwer, R., Shaban, A., & Hamzé, M. (2011). Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon. *Land Degradation & Development*, 22(3), 345-358.
17. European Parliament, 2014. Directive 2014/52/EU of the European Parliament and of the Council of 730 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain 731 public and private projects on the environment.
18. Fenianos, J., Khater, C., Viglione, J., Brouillet, B. (2017). Invasive species, Invasive minds?? a psycho cognitive approach to an ecological problem. *International Iskenderun Bay Symposium 11-13 October 2017*.
19. Jacobson, N., D. Butterill, and P. Goering. 2004. Organizational factors that influence university-based researchers' engagement in knowledge transfer activities. *Science Communication* 25(3):246- 259.
20. Khater C., (2015). «L'écologie appliquée: une responsabilité scientifique au carrefour de l'interdisciplinarité». HDR. *Université Aix-Marseille*.
21. Khater, C. (2004). Dynamiques végétales post-perturbations sur les carrières calcaires au Liban. Stratégies pour l'écologie de la restauration en régions Méditerranéennes. (*Doctoral dissertation, Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc*).
22. Khater, C., & Martin, A. (2007). Application of restoration ecology principles to the practice of limestone quarry rehabilitation in Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 8(1), 19-28.
23. Khater, C., Martin, A., & Maillat, J. (2003). Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon. *Applied vegetation science*, 6(2), 199-204.
24. Khater, C., Ravel, V., Sallantin, J., Thompson, J. D., Hamze, M., & Martin, A. (2012). Restoring ecosystems around the Mediterranean basin: beyond the frontiers of ecological science. *Restoration Ecology*, 20(1), 1-6.
25. Le sommet de la Terre (1992). Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. Principes de gestion des forêts. *Rio de Janeiro, Brésil: Nations Unies*.
26. MacMahon, J. A. (1987). Disturbed lands and ecological theory: an essay about a mutualistic association. *Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research*, 221-237.

27. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement  
- Ministère de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique. 2012. Stratégie nationale pour la gestion durable des granulats terrestres et marins et des matériaux et substances de carrières. 13 p.
28. Ministry of Environment "MOE" (2003). Republic of Lebanon Cost Assessment of Environmental Degradation World Bank/METAP.
29. Oldfield, E. E., Warren, R. J., Felson, A. J., & Bradford, M. A. (2013). Challenges and future directions in urban afforestation. *Journal of Applied Ecology*, 50(5), 1169-1177.
30. Pamba S. (2014). The Potential Use of Aquatic Ecosystem for Enhancement of Rehabilitation of Mining Site: A Case of Wazo Hill, Tanzania. *Quarry Life*.
31. Phillips, J. (2012). The level and nature of sustainability for clusters of abandoned limestone quarries in the southern Palestinian West Bank. *Applied Geography*, 32(2), 376-392.
32. Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., & Brooks, T. M. (1995). The future of biodiversity. *Science*, 269(5222), 347-350.
33. PNUD. (2018). Rapport sur les objectifs de développement durable.
34. Prach, K., & Tolvanen, A. (2016). How can we restore biodiversity and ecosystem services in mining and industrial sites?
35. Primack, R. B., Sarrazin, F., & Lecomte, J. (2012). Biologie de la conservation. Paris: Dunod.
36. SDATL/Dar-iaurif. 2004. Schéma d'aménagement du Territoire Libanais- Liban.
37. SER (Society for Ecological Restoration International & Policy Working Group), 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. *Society for Ecological Restoration International, Washington, DC*, [www.ser.org](http://www.ser.org).
38. Suding, K. N., & Hobbs, R. J. (2009). Threshold models in restoration and conservation: a developing framework. *Trends in ecology & evolution*, 24(5), 271-279.
39. UNICEM, UNPG (2017) L'industrie française des granulats en 2015.
40. Van Diggelen, R., & Marrs, R. H. (2003). Restoring plant communities-Introduction. *Applied Vegetation Science*, 6(2), 106-110.
41. Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., & Nziguheba, G. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 324(5934), 1519-1520.
42. Walker, L. R., & del Moral, R. (2009). Transition dynamics in succession: implications for rates, trajectories and restoration. *New models for ecosystem dynamics and restoration*, 33-49.
43. WBCSD (2011). Cement Sustainability Initiative (CSI). business solutions for a sustainable world. ISBN: 978-3-940388-82-7.
44. Weerts, D.J., & L.R. Sandmann. 2008. Building a two-way street: Challenges and opportunities for community.
45. Williamson, G. M., Shaffer, D. R., & Schulz, R. (1998). Activity restriction and prior relationship history as contributors to mental health outcomes among middle-aged and older spousal caregivers. *Health Psychology*, 17(2), 152.







Préface par:

Mouin Hamzé | Secrétaire Général - CNRS-L

Hervé Sabourin | Directeur Régional - AUF

Fady Jreissati | Ministre de l'Environnement

Coordonné par:

Carla Khater | CNRS-L/ O-LiFE - Liban

Mohammad Yessef | IAV - II - Maroc

Thierry Dutoit | CNRS / IMBE - France

