

# Connaître la biodiversité pour connaître les roches

Publié le 12.04.22 | Par [Patrick De Wever](#)

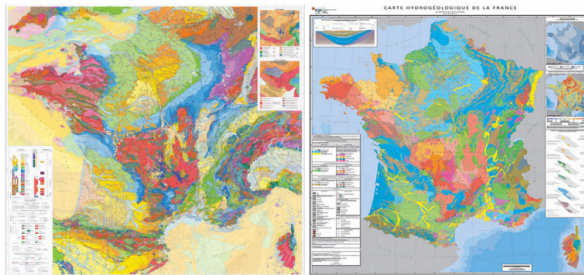
**Les espèces ne sont pas réparties aléatoirement sur les continents. En particulier, la distribution des plantes est fortement corrélée avec la lithologie du sous-sol qui influence à la fois la composition en sels minéraux du sol et l'hygrométrie de celui-ci. De ce fait, la connaissance des plantes peut fournir aux scientifiques de précieuses informations sur la nature du sous-sol et aider ainsi à localiser des minerais, ou encore à choisir des espèces aptes à décontaminer des sols pollués.**

**Cet article est le premier du dossier [La géodiversité, socle de la biodiversité](#).**

## 1. Des cartes avec des airs de famille

Une première approche, très visuelle se fait en comparant différents types de cartes. Des ressemblances sautent aux yeux.

Les relations entre l'eau et la vie sont évidentes pour tout le monde. Les relations entre l'eau et la géologie le sont tout autant. Les cartes (géologique et hydrogéologique) soulignent les dépendances entre la nature du sous-sol et les ressources en eau sur le territoire.

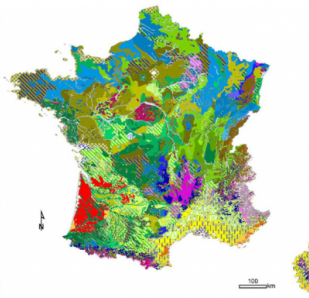


**Figure 1 - Cartes géologique (à gauche) et hydrogéologique (à droite)**

La concordance entre ces deux cartes est telle, en vue générale, que l'on pourrait presque prendre l'une pour l'autre.

Auteur(s)/Autrice(s) : BRGM Licence : [Reproduit avec autorisation](#)

Une autre ressemblance est tout aussi frappante si la carte lithologique est mise à côté de la carte botanique. Alors qu'une carte géologique présente les roches par âges, une carte lithologique distingue les types de roches : sables, calcaires, granites... Avec la carte botanique ci-dessous, bien qu'un peu trop détaillée pour une comparaison facile, les relations entre lithologie et botanique sont évidentes.



**Figure 2 - Carte lithologique (à gauche) et carte de la végétation (à droite)**

Auteur(s)/Autrice(s) : BRGM et CNRS

Licence : [Reproduit avec autorisation](#)

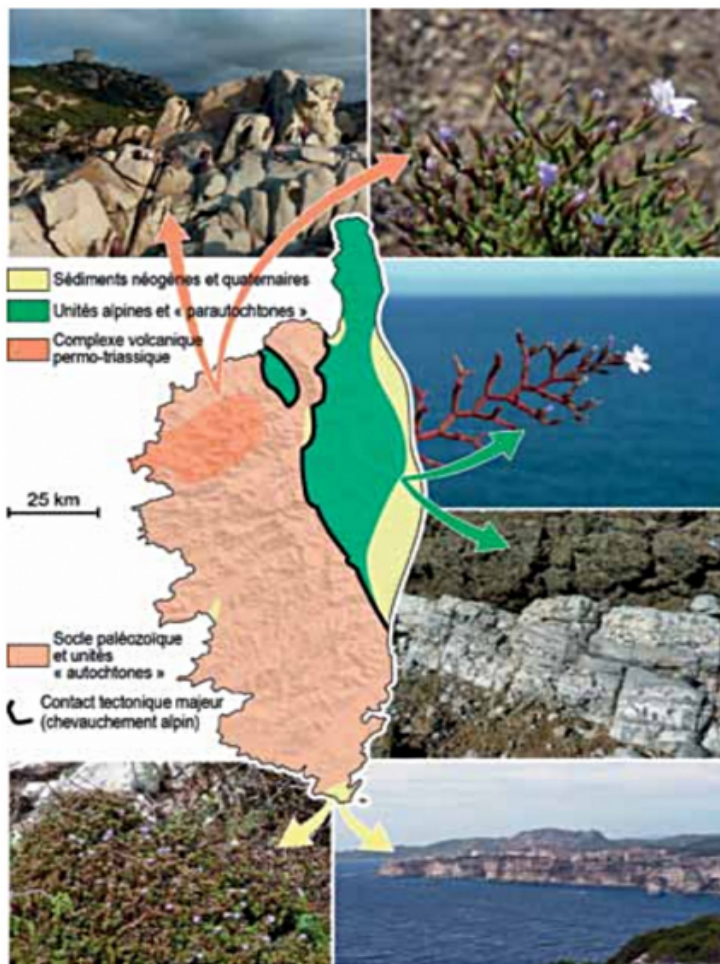
Les ressemblances sont si fortes qu'il n'est pas utile de les détailler. Outre les massifs cristallins, les auréoles orientales du Bassin parisien se voient sur toutes les cartes. Les reliefs importants, eux, se marquent par un patchwork plus complexe.

À une échelle plus régionale les mêmes observations sont possibles. La Corse en est une illustration.

## 2. Des plantes inféodées à un type de roche, exemple de la Corse

Le genre *Limonium* (Plumbaginaceae) comprend plusieurs centaines d'espèces qui se trouvent dans le monde entier. Certaines sont cosmopolites, d'autres montrent des exigences précises. Le cas de la Corse permet d'illustrer de fortes relations entre certaines espèces et un substrat rocheux particulier (Figure 3).

La Corse est une île depuis une vingtaine de millions d'années, les mécanismes de sélection naturelle et de spéciation ont eu le temps de créer des espèces adaptées à chaque type de roche. Sur l'île d'Elbe, isolée depuis seulement deux millions d'années, Christian Bravard nous précise que des espèces endémiques à l'île ont pu s'installer, mais que la durée d'isolement insulaire n'est pas suffisante pour que des espèces se spécialisent pour chaque type de roches.



**Figure 3 - Carte schématique de la Corse géologique**

En haut : paysage de granite de Campomoro (Sud-Ouest de l'île) et son *Limonium articulatum*.  
 À droite (au milieu) : serpentinite (en sombre) et gabbro (clair) du Cap Corse avec *L. contortirameum*.  
 En bas : paysage calcaire de Bonifacio avec *L. obtusifolium*.

Adapté de C. Brayard, 2016, Roches corses source de biodiversité, in Geofestival Beaufortin, de la Roche au végétal.

Auteur(s)/Autrice(s) : C. Brayard

Le socle paléozoïque et le complexe volcanique permo-triasique (saumon et orange sur la carte) constituent la majeure partie de la Corse. Ils sont formés de roches très siliceuses (granites, gneiss, rhyolites...). Cette région porte *Limonium articulatum*.

La Corse alpine (en vert sur la carte) est constituée majoritairement de roches peu siliceuses, riches en minéraux ferromagnésiens (gabbros, serpentinites...). Sur cette zone s'est installé *Limonium contortirameum*.

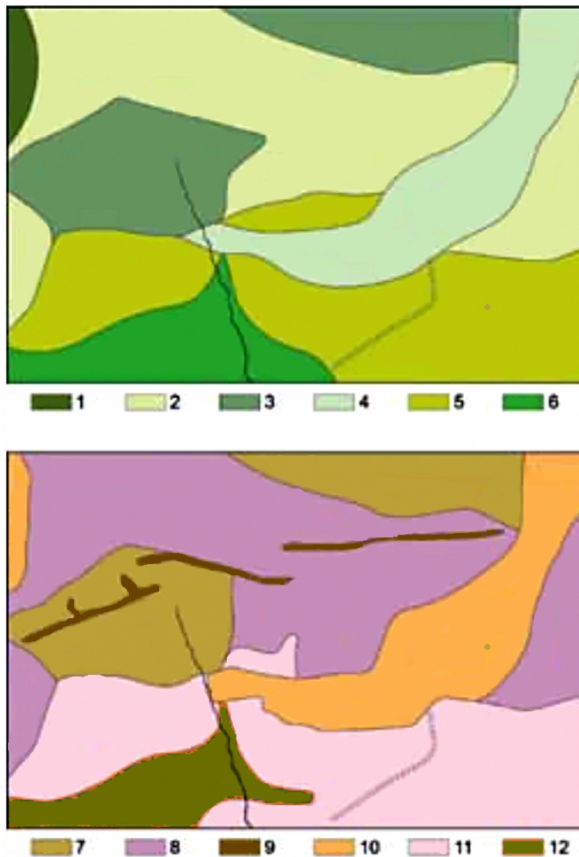
Les unités néogènes et quaternaires ont des compositions variées. Vers le Nord-Est de la Corse, les sédiments comprennent des sables, des conglomérats à nombreux blocs, des marnes... Au Sud (vers Bonifacio) les sédiments et les roches sont très calcaires, là s'est installé *Limonium obtusifolium* sur les calcaires.

On distingue les flores calciphiles ou calcicoles (qui « aiment » les roches riches en calcium - calcaires, gypse - tels les *Fagus, Dianthus, Bromus, Festuca, Linaria...*), les halophytes (qui « aiment » le sel, telle la salicorne), celles qui « aiment » le sélénium (les *Astragalus, Stanleya, Aster, Oryzopsis*), le zinc ou les serpentinites du fait de leur richesse en magnésium, nickel, chrome, cobalt... À l'opposé, il y a des plantes calcifuges (qui « fuient » les roches riches en calcium)... La chimie des sols et du sous-sol en général joue un rôle essentiel.

### 3. Géobotanique

Comme les plantes poussent sur des sols, sédiments ou roches, il est logique que des relations fortes existent entre eux. La liaison est tellement forte qu'elle a donné naissance à une discipline, la géobotanique<sup>[1]</sup>.

Les cartes suivantes (établies à 1/20 000) illustrent la concordance, à une échelle locale, entre botanique (en vert) et type de roche (en violacé-orange).



**Figure 4 - Carte géobotanique de la région de Karmir-Karsky (Kadzharan, Arménie)**

Carte botanique : 1- association à *Silene compacta* (qui produit de jolies fleurs fucshia) / 2- association herbeuse / 3- association herbe-légumineuse / 4- association à *Lapsana communis* (lampsane commune, une herbacée à fleurs jaunes) / 5- association à thym-tragacanthé / 6- association thym-tragacanthé, herbes et légumineuses .

Carte géologique : 7- roches porphyriques / 8- roches porphyriques altérées / 9- filons de granodiorite / 10- cornéennes (roches de métamorphisme de contact) / 11- monzonites (variétés de granite sans quartz) / 12- syénites (variétés de granite sans quartz, à feldspaths alcalins).

Auteur(s)/Autrice(s) : Malyuga

Cette concordance explique que la botanique est utilisée pour les relevés géologiques de cartographie, et même pour rechercher certaines roches, pour les ressources minières par exemple. Le relevé botanique se fait en parcourant le terrain, comme pour reconnaître les roches. Parfois ce sont les couleurs des fleurs qui traduisent des changements dans le type de sous-sol[2]. Cette distinction est importante car alors le repérage peut se faire par photographie aérienne.



**Figure 5 - Astragalus pattersonii**

*Astragalus pattersonii*, de par son appétence au sélénium, est un bon indicateur de minerai d'uranium car il y a un lien géochimique entre uranium et sélénium. Cette plante « repère » l'uranium jusqu'à plus de 20 m de profondeur.

Auteur(s)/Autrice(s) : Mary Ellen Harte Licence : [CC-BY-NC](#) Source : [Forestry Images](#)

La géobotanique est très utilisée par les géologues industriels. Les indicateurs phytosociaux permettent de déduire le type de terrain mais surtout les minerais recherchés. Il existe aussi des plantes qui signalent la présence de certains métaux particuliers tel le nickel, d'autres le cadmium (et quand il y a du cadmium, il y a du zinc), d'autres encore l'or. Même l'uranium se recherche avec des plantes (*Astragalus*, Figure 5) ! La fougère *Adiantum venustum* est aussi un bon indicateur, pas sa présence, mais aussi par son contenu en uranium.

On distingue habituellement deux types de plantes indicatrices : les indicatrices universelles et les indicatrices locales. Les premières indiquent indubitablement la présence de tel ou tel métal, mais elles sont souvent peu fréquentes, donc difficiles à repérer. Les autres sont plus fréquentes mais ne sont pas restreintes aux endroits riches en métaux, simplement elles y existent en plus grand nombre.

En Australie, des eucalyptus concentrent dans leurs feuilles les particules d'or au-dessus de gisements, même relativement profonds[3]. En effet, ces arbres peuvent atteindre 90 m de haut et ont des racines qui descendent à près de 40 m de profondeur. Certes ce n'est pas un moyen d'exploiter le gisement, car il faudrait les feuilles de 500 gros arbres pour faire une bague, mais cela représente une approche efficace pour localiser des gisements.



**Figure 6 - Eucalyptus regnans**

Auteur(s)/Autrice(s) : Nathan Johnson

Licence : [CC-BY-NC-SA](#) Source : [Flickr](#)



**Figure 7 - Souche cultivée de Fusarium oxysporum**

Auteur(s)/Autrice(s) : Keith Weller, USDA-ARS Licence

: [Domaine public](#) Source : [Wikimedia](#)

Des champignons aussi possèdent la capacité d'accumuler l'or sous forme de nanopépites dans leur mycélium, tel *Fusarium oxysporum*, champignon commun dans le monde entier qui produit un mycélium rose en forme de fleur<sup>[4]</sup>. Ce n'est pourtant pas un poète car il est aussi responsable d'une maladie, la fusariose, qui affecte les tomates, les bananes, les melons, etc., provoquant des pertes économiques importantes. À ce titre, il est parfois utilisé comme herbicide (« agent vert »). Il n'en reste pas moins qu'il peut permettre de circonscrire les zones à explorer pour l'or, avant d'employer des moyens plus lourds.

D'autres organismes vivants sont de bons indicateurs pour les chercheurs d'or : les fourmis ou les termites par exemple. Les insectes accumulent certains métaux pour renforcer leur cuticule, néanmoins le processus de stockage, notamment des métaux lourds, peut être préjudiciable en excès, alors ils les excrètent et ces métaux se trouvent concentrés dans les fourmilières et termitières.

La méthode traditionnelle pour rechercher l'or consiste en une prospection géochimique suivies de forages, mais cette pratique est très coûteuse. Les prospecteurs utilisent désormais les organismes vivants comme premiers indicateurs, d'autant plus précieux qu'ils apportent en surface des informations généralement masquées par la poussière, les sols ou la végétation.



**Figure 8 - Silène de Suède (*Viscaria alpina*), plante indicatrice de minerai de cuivre**

Auteur(s)/Autrice(s) : Meneerke bloem  
Licence : [CC-BY-SA](#) Source : [Wikimedia](#)

La relation plante / sous-sol est connue depuis longtemps car elle était utilisée dès le VIII<sup>e</sup> ou IX<sup>e</sup> siècle par les Chinois. En Europe occidentale, les gisements de cuivre étaient aussi localisés grâce à la présence de plantes, en particulier la silène de Suède (*Viscaria alpina* (L.) G Don[5]).

Aujourd'hui, plus d'une centaine de plantes sont utilisées comme indicatrices de minéralisations ou de métaux.

## 4. Certaines roches n'aiment pas les arbres



**Figure 9 - Serpentinite utilisée en pierre de parement pour une façade d'hôtel (Pau)**

La serpentinite a été utilisée pour les lieux les plus prestigieux, comme la tribune de l'assemblée générale de l'ONU à New-York.

Auteur(s)/Autrice(s) : Patrick de Wever Licence : [Reproduit avec autorisation](#)

Certaines roches du manteau terrestre transformées par des fluides hydrothermaux, se trouvent en surface sous forme de roches vertes avec de jolies moirures plus sombres ou jaunâtres. Cette pierre fut utilisée au Moyen Âge pour construire notamment la célèbre fontaine du cloître de Conques. Elle est appelée serpentinite car elle évoque une peau de serpent, et est souvent utilisée en pierre de parement.

Dans la nature, les lieux où ces roches se trouvent en surface sont généralement dépourvus d'arbres ou arbustes, si bien que les collines apparaissent nues, ou « chauves ». De ce fait, les toponymes mentionnent « Mont Chauve » dans les Pyrénées, « Suc de Clava[6] » en Ardèche ou Mont Pelé dans la plaine du Pô (Italie). Au Japon, enfin, plusieurs reliefs de serpentinites se nomment « Bozu Yama » (*bozu* = bonze, *yama* = montagne), bref « chevelu comme un bonze » ! Et cet aspect dénudé ne relève pas d'un sabbat de sorcières comme a pu le mettre en musique Moussorgski[7].

Pourquoi cette roche, la serpentinite, ne permet-elle pas aux arbres de pousser normalement ? Serait-ce encore une manifestation démoniaque du serpent dont elle a la peau ou des sorcières de Gogol ? En fait, il semblerait qu'il y ait de multiples raisons, dont la chimie, mais tout cela n'est pas très clair ! Tout d'abord, ce genre de roche est assez pauvre en potassium, et cette déficience grève la régulation de la pression osmotique intracellulaire et plus généralement la régulation des mouvements de l'eau. Ensuite, le magnésium est près de trois fois plus abondant que le calcium[8] dans les sols développés sur serpentinite (même si le calcium n'est pas déficient, le magnésium prend alors le pas sur le calcium).

Les quantités de fer et de manganèse sont importantes et les métaux toxiques (nickel, chrome, cobalt) perturberaient le métabolisme, mais, selon d'autres auteurs[9], les quantités de métaux toxiques restent trop faibles pour affecter la croissance des plantes. Ces terrains sont généralement improductifs, pourtant, même ces sols contiennent une quantité élevée de matière organique. Ce paradoxe serait expliqué par le fait que le peu de carbone organique produit s'y décompose moins vite qu'ailleurs.

Pour remédier à ces inconvénients, certains préconisent l'usage de plantes comme « traitement » pour rendre les sols sur serpentinite cultivables, mais le problème ici est que ces métaux anormalement abondants se concentrent surtout dans les racines... Une prairie de fauche, avec export des parties aériennes enrichies en métaux, n'est donc pas la solution.

Les incidences socio-économiques sont diverses. Tout d'abord les sols sur serpentinites sont impropres à l'agriculture en général. Ensuite, pour les gestionnaires de collectivités territoriales, ignorer la présence de cette roche serait un inconvénient majeur pour un PLU (plan local d'urbanisme), car les maisons que l'on y construirait ne permettraient aucun cerisier ou groseillier dans les jardins, aucun arbre ou arbuste, ce qui ne manquerait pas de poser problème, sans compter que la richesse du sol en chrome et autres métaux lourds n'est sans doute pas favorable à un potager très sain.

L'un des affleurements de serpentinite les plus vastes d'Europe se trouve en France, il s'agit du Puy de Wolf (134 ha) dans l'Aveyron, qui n'est pas un volcan en dépit de son nom et de sa constitution de roches issues du manteau[10]. Le Puy de Wolf est en fait un ancien fragment d'ophiolite (ou de base de croûte continentale amincie) mis en place pendant l'orogénèse varisque.



#### **Figure 10 - Le Puy de Wolf, un ancien fragment d'ophiolite**

Cette colline dénudée (Puy de Wolf, Nord-Est de Firmi, près de Decazeville, Aveyron) contraste avec les collines boisées environnantes. Sa biodiversité est si particulière que le Puy de Wolf est classé en site Natura 2000 (FSD, FR7300875). Il s'agit aussi d'un site de l'Inventaire national du patrimoine géologique (INPG MPY0576).

Auteur(s)/Autrice(s) : Patrick de Wever  
Licence : [Reproduit avec autorisation](#)



**Figure 11 - Le tabouret de Firmi (*Noccaea caerulescens* subsp. *firmiensis*)**

Auteur(s)/Autrice(s) : Jean-Gabriel Hernando Licence : [Reproduit avec autorisation](#)

La plupart des sites à serpentinite sont aussi des sites remarquables pour la biodiversité en particulier botanique non par leur richesse en biodiversité mais par leurs particularités. On y trouve des plantes endémiques à côté du genêt purgatif telles que le tabouret de Firmi (*Noccaea firmiensis*), plante redressée à petites fleurs blanches. Cette particularité explique que la plupart des affleurements de serpentinites sont des zones naturelles d'intérêt écologique faunistique ou floristique (ZNIEFF) ou des espaces naturels sensibles (ENS).

Comme toujours, il existe des exceptions. Ainsi en Vendée quelques vignes destinées au Muscadet se trouvent sur des affleurements de serpentinites très altérées (tels que celui de la Butte de la Roche, à 2 km au Sud-Ouest de Le Loroux, à l'Est de Nantes).

## 5. Certains arbres n'aiment pas certaines roches

Aux Açores, sur l'île principale de Sao Miguel, les autorités ont voulu revégétaliser tout un pan de volcan pour le stabiliser avec des milliers d'arbres spécifiquement choisis pour leur adaptation au climat local (subtropical océanique) et à ces fortes pentes. Après quelque temps, force fut de constater que les arbres plantés, des eucalyptus, ne profitaient pas, et même qu'ils mourraient.



**Figure 12 - Un bouquet de cèdres du Japon (*Cryptomeria japonica*)**

Auteur(s)/Autrice(s) : Thierry Caro Licence : [CC-BY-SA](#)  
Source : [Wikimedia](#)

Après étude, il ressortit qu'il y avait une incompatibilité entre le type de roche de cette montagne et les plantes. Les eucalyptus ne se développent pas sur ces roches volcaniques (des trachytes alcalins dominants) et il fallut constater une lourde perte financière et ré-investir dans une nouvelle plantation. Cette fois, le Cèdre du Japon (*Cryptomeria japonica*) a été choisi car il est parfaitement adapté à ce type de roches. Ceux qui ont été plantés s'y développent avec bonheur.

Les autorités ont finalement réussi ce qui était souhaité, revégétaliser, mais il fallut davantage de temps et... plus que doubler l'argent nécessaire. On peut remarquer que l'Office national des forêts (ONF) replante beaucoup de *Cryptomeria japonica* sur l'île de La Réunion.

## 6. Nettoyer des sols par des plantes

Le passé industriel de notre pays n'est plus partout évident quand on voit ici de verts pâturages, ailleurs l'implantation d'un collège dans la nature, même à la périphérie d'une cité dont certains bâtiments portent encore la trace de ce passé[11]. Pourtant certaines friches industrielles issues des industries sidérurgiques et métallurgiques ont des sols imprégnés d'éléments et de composés nocifs. Les métaux les plus abondants sont le plomb, le zinc, le cadmium ; d'autres comportent des composés radioactifs en quantité significative. La présence de certains est trahie par des plantes spécifiquement « adaptées » ou « tolérantes ».

Un exemple peut être pris dans le Nord de la France. À la frontière franco-belge, au niveau de la confluence de la Scarpe et de l'Escaut, Mortagne-du-Nord occupait une situation stratégique qui lui valut, au début des années 1960, d'être le deuxième port de batellerie de France derrière Strasbourg (Figure 13). Au XIX<sup>e</sup> siècle, la proximité des mines de charbon du Hainaut franco-belge a permis un intense développement industriel. Ainsi, par exemple, s'est implantée une zinguerie qui a produit le tiers de la production française. Le minerai arrivait par l'Escaut. Le zinc n'est pas seul dans le minerai, le cadmium et le plomb, entre autres, lui sont habituellement associés. L'extraction des métaux et leur traitement utilisaient des acides forts et autres produits toxiques. Que ce soit par épandage accidentel, par ruissellement ou par les fumées des cheminées d'usine, ces métaux et leurs cortèges ont imprégné les sols et la végétation des environs, de même que les aquifères, très proches, et le fleuve. Les représentations véhiculées étaient sombres, pourtant au printemps toutes les pelouses, les fissures de trottoirs étaient spontanément fleuries jusqu'aux rebords des fenêtres. L'espèce la plus connue, *Arabidopsis halleri* (Figure 13C), était particulièrement tenace et trahissait la présence, même en très faible quantité, de zinc et de cadmium.



**Figure 13 - Mortagne-du-Nord : de la contamination à la décontamination**

A : Le site industriel de Mortagne-du-Nord dans les années 1950. Le site du collège (voir sous-figure B) se trouve sur la partie droite de cette photo.

B : Collège de Mortagne-du-Nord en 2005, sur pelouse métallicole décontaminée.

C : L'arabette de Haller (*Arabidopsis halleri*) est l'une des plantes qui tolèrent zinc et cadmium contenus dans le sol, et en trahit donc la présence.

Crédits : A : Auteur inconnu, paru dans [Thiry et coll., 2002, Bulletin de la Société géologique de France](#) ; B : Patrick de Wever ; C : HermannSchachner, domaine public, [Wikimedia](#)

Auteur(s)/Autrice(s) : Voir légende



**Figure 14 - *Schima superba*, une astéridée parfumée capable d'accumuler plus de 6 % de sa masse en manganèse**

Auteur(s)/Autrice(s) : Keisotyo Licence : [CC-BY-SA](#)

Source : [Wikimedia](#)

En effet, certaines plantes ont la propriété de prospérer sur des sols qui empoisonneraient la plupart des autres. On en dénombre près de 400. La plupart bioaccumulent un ou deux métaux, mais un plus large éventail pour quelques autres. Le nickel est le plus fréquemment stocké, il l'est par 300 espèces. Si les plantes appartiennent à quelque 43 familles, la plupart sont des Brassicaceae. Ces plantes hyper-accumulatrices prélèvent des métaux en pourcentage variable selon le polluant (plus de 1 mg/g de matière sèche pour le nickel, le cuivre, le cobalt, le chrome ou le plomb ; plus de 10 mg/g pour le zinc ou le manganèse). Une sorte de marguerite (*Berkheya coddii*) est capable d'accumuler 3,7 % de nickel dans sa masse sèche. *Azolla pinnata* prélève le cadmium jusqu'à 740 mg/kg de matière sèche, *Eleocharis acicularis* prend le cuivre jusqu'à 20,2 g/kg, le zinc jusqu'à 11,2 g/kg, le cadmium jusqu'à 239 g/kg et l'arsenic jusqu'à 1,47 g/kg. Une euphorbe (*Euphorbia cheiradenia*) est cultivée pour prélever le plomb qu'elle accumule jusqu'à 1,14 g/kg, et un record est tenu par *Schima superba* qui prélève le manganèse jusqu'à 62,5 g/kg (soit 6,25 % du poids de matière sèche) !

Pourquoi ces plantes accumulent-elles ces « polluants » ? Il semblerait que les métaux jouent un rôle de protection au moins partiel pour ces plantes envers certains organismes (bactéries, champignons, insectes). Ainsi, le tabouret des bois (*Noccaea caerulea*) accumule le zinc qui l'aide à se protéger des attaques du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*), d'une limace (*Deroceras carvaneae*) et des chenilles d'un papillon (*Pieris brassicae*, la piéride du chou).

**Figure 15 - Le tabouret des bois et des prédateurs**

A : Le tabouret des bois (*Noccaea caerulea*) est friand de zinc, ce qui le protège de certains prédateurs

B : Le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*)

C : Chenilles de la piéride du chou (*Pieris brassicae*)

Crédits : A : Konrad Lackerbeck, [CC-BY-SA, Wikimedia](#) ; B : AtelierMonpli, [CC-BY-SA, Wikimedia](#) ; C : Reinhold Möller, [CC-BY-SA ; Wikimedia](#)

Auteur(s)/Autrice(s) : Voir légende Licence : [CC-BY-SA](#)



Ces capacités d'extraction réalisées par les plantes, qui absorbent et concentrent dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges) les polluants, sont utilisées pour la dépollution des sols (on parle de phytoremédiation[12]). Le plus souvent les

plantes sont récoltées et incinérées. Les cendres sont stockées ou valorisées pour récupérer les métaux accumulés. Des travaux récents associent la plante et certaines bactéries ou champignons qui augmentent à la fois la capacité de captation et la vitesse de croissance de la plante, améliorant ainsi la capacité et la vitesse d'extraction.

### Extraire des métaux avec des bactéries

De nombreuses bactéries ont aussi des capacités d'extraction importantes et concentrent tels ou tels métaux dans leur contenu cellulaire. L'industrie minière utilise ces bactéries : c'est la biolixiviation. Rappelons que la lixiviation est une opération qui consiste à faire passer lentement un solvant à travers un milieu perméable ou un produit convenablement pulvérisé, pour en extraire un ou plusieurs constituants solubles utiles. Comme Monsieur Jourdain faisait de la prose sans le savoir, tout le monde pratique la lixiviation quand il fait son café du matin. La biolixiviation minière consiste à arroser en continu des terrils ou des déblais contenant des morts-terrains (contenant un peu de métal, mais trop pauvres pour qu'un traitement chimique classique soit rentable) par une suspension bactérienne qui concentre tel ou tel métal.

Parfois aussi, les minerais trop pauvres sont mis dans des cuves pleines de cette suspension bactérienne et agités en permanence. Certaines bactéries, en effet, par leur métabolisme, sont capables d'extraire et de concentrer dans leur contenu cellulaire tel ou tel métal d'un minéral sur lequel elles poussent ou à partir d'une solution très diluée. Une des bactéries les plus utilisées a d'ailleurs un nom riche de sens : *Sulfolobus metallicus*.

À côté de cette extraction directe, il existe aussi l'extraction indirecte où c'est le métabolisme bactérien qui acidifie considérablement le milieu, ce qui attaque le minéral porteur du métal recherché, métal qui se retrouve ainsi en solution et que concentrent d'autres bactéries. Que ce soit par extraction directe ou indirecte, une fois que les bactéries ont concentré le métal recherché, il ne reste plus qu'à l'extraire par des procédés chimiques classiques. Les principaux métaux extraits par biolixiviation sont le cuivre, le zinc, le plomb, l'argent, l'arsenic, l'or, l'antimoine, le cobalt, le manganèse, le nickel... C'est l'extraction du cuivre qui utilise le plus la biolixiviation : environ 20 % du cuivre utilisé dans le monde (hors recyclage) est issu de procédés de biolixiviation.

## 7. Les carrières, des opportunités pour la biodiversité

Les carrières sont généralement considérées comme des blessures dans la nature par la plupart de nos contemporains [13]. L'urgence semble alors de chercher à cicatiser au plus vite cet outrage par comblement de la dépression et revégétalisation. Ce souhait part sans doute de bonnes intentions *a priori* mais, de fait, ne contribue pas à optimiser la biodiversité. En effet, les carrières offrent de nouvelles opportunités à la biodiversité pour s'exprimer par la création de nouveaux milieux, très variés, si bien qu'un rapport de synthèse de réunions qui se sont tenues en 2008-2009, est intitulé *Les carrières, une opportunité pour la biodiversité* [14]. C'est d'ailleurs ce qui explique qu'il est souvent plus difficile de rouvrir une ancienne carrière abandonnée que d'en ouvrir une nouvelle !

Une étude [15] lancée en 2010 par l'Unicem (Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction) en collaboration avec des écologues, sous la direction d'un comité de pilotage présidé par le professeur Robert Barbault, et rassemblant industriels et universitaires, a montré que l'exploitation génère des espaces neufs que la nature colonise. Les milieux pionniers créés par cette activité sont propices à de nombreuses espèces, dont certaines ont une valeur patrimoniale de premier ordre.

Il peut paraître paradoxal d'affirmer que l'activité extractive favorise la biodiversité. En effet, l'aspect minéral des carrières n'invite pas à imaginer qu'elles abritent une faune et une flore à la fois riches et précieuses. C'est pourtant le cas. Les études qu'ont menées les scientifiques (du Muséum national d'histoire naturelle, du CNRS, d'universités ou d'associations) le prouvent : les milieux pionniers issus de cette activité sont propices à de nombreuses espèces. En s'assurant de l'absence de plantes invasives, l'exploitant verra s'installer des espèces spécifiques aux dalles calcaires, aux coulées basaltiques, aux différentes variétés de granites... que ce soit dans des coins « tranquilles » des carrières en activité, ou dans des carrières après leur fermeture. Des espèces menacées trouvent en effet refuge dans les carrières qui leur offrent des milieux naturels devenus rares. « *Si l'on observe une telle biodiversité dès l'exploitation,*

c'est parce que l'extraction crée des habitats originaux et divers – étangs, gravières à sec, roches, escarpements – qui sont ensuite colonisés par des espèces pionnières adaptées à ces milieux », a précisé Bernard Frochot, professeur émérite d'écologie et président du conseil scientifique régional du patrimoine naturel de Bourgogne, lors d'un forum national qui s'est tenu sur ce thème le 26 novembre 2009 au Muséum national d'histoire naturelle. Ce point a été largement présenté dans le livre du professeur Jean-Claude Lefeuvre[16], ancien président du CNPN (Comité national pour la nature, instance du ministère en charge de l'environnement).

Le paradoxe semble d'autant plus fort qu'une activité industrielle n'a pas vocation à contribuer à la biodiversité ! Mais pour cette industrie, pouvoir participer à la préservation des espèces est une source de satisfaction, de fierté, même si cette opportunité va de pair avec des contraintes supplémentaires : plantes et animaux s'installent dans les carrières au moment qui leur convient et aux endroits qui leur sont favorables, sans se soucier des plans d'exploitation ! Le défi des carriers est alors de trouver des solutions originales pour poursuivre leur activité sans déranger les hôtes... non invités mais présents ! Les industriels acquièrent en chemin ce nouveau savoir-faire, en concertation avec les mondes scientifique et associatif.

Il convient aussi de souligner que la nouvelle génération des carriers – tout au moins les acteurs de terrain ou les bureaux d'études qui dessinent les projets d'évolution des sites de carrières – est souvent intéressée par l'environnement et capable de concevoir des plans de réaménagement de grande qualité. Le géologue, conscient de sa responsabilité dans la conception d'un projet qu'il dessine, s'applique à intégrer les fonctionnalités futures en termes de biodiversité.

## 7.1. Carrières de roches meubles

Des études menées depuis près de 50 ans dans plusieurs dizaines de carrières de roches meubles, réparties sur l'ensemble du territoire national, ont montré leur fort potentiel écologique, notamment celui des zones humides. Elles firent ressortir que l'on y trouve un sixième de la flore française, 48 % de l'avifaune métropolitaine dont 28 espèces rares à très rares et 90 % des espèces migratrices. Y ont été identifiés 52 % des amphibiens et 45 % des reptiles.



**Figure 16 - Front de taille de la carrière du Déluge (Marcoussis, Essonne)**

Les trous noirs dans la paroi de ce front de taille correspondent aux nids des hirondelles de rivage (*Riparia riparia*).

Auteur(s)/Autrice(s) : Patrick de Wever  
Licence : [Reproduit avec autorisation](#)



**Figure 17 - Hirondelle de rivage (*Riparia riparia*)**

Auteur(s)/Autrice(s) : Philippe Gourdain Licence : [CC-BY-NC-SA](#) Source : [Inventaire national du patrimoine naturel](#)

Un exemple d'opportunité offerte à l'avifaune est la colonisation du front de taille d'une carrière de sable. En effet,

l'ouverture d'une carrière modifie l'environnement et, de fait, crée de nouveaux biotopes qui deviennent si caractéristiques qu'ils favorisent l'installation de plantes ou d'animaux jusque-là absents (hirondelles des rivages, guêpiers d'Europe, faune et flore dans le plan d'eau créé...). Les anciennes carrières deviennent des lieux où la biodiversité devra être sauvegardée.

Autre exemple, parmi ces milieux d'extraction de roches meubles, les grèves représentent un habitat original issu de l'exploitation des gravières. Ce sont des zones récentes, peu colonisées par la végétation, où affleurent les différents substrats mis au jour par l'extraction (graviers, sables, argiles). Très variées, elles dépendent de la texture des substrats, de la richesse des éléments nutritifs, de la pente et de la durée d'inondation.

Il est maintenant classique de voir des projets tout à fait remarquables par leur conception, dont on comprend la réelle fonctionnalité écologique et qui présentent un fort potentiel de biodiversité. De très nombreux exemples de réaménagement de gravières sont apparus depuis plus de 20 ans. La biodiversité y est suivie par exemple sur le site de l'Écopôle du Forez[17]. Certains sites sont favorables au développement d'espèces locales, influencé par la présence du castor, comme sur le site de Loriol (Drôme). La pertinence des plans d'aménagement écologique résulte d'un travail collaboratif entre industriels et naturalistes.

## 7.2. Carrières de roches massives

Dans les carrières de roches massives il existe une forte variation de biodiversité en fonction des secteurs d'exploitation de la carrière : carreau, front de taille, bassin de décantation...

Les carreaux (fonds de la carrière) humides sont particulièrement propices aux amphibiens, dont certaines espèces sont bien connues des carriers. Ce sont des espèces pionnières qui se reproduisent dans de petites mares, ou flaques, à substrat minéral, peu ou pas végétalisées. La plus fréquente est le crapaud calamite mais on y trouve aussi le pédolyte ponctué, le crapaud accoucheur et le sonneur à ventre jaune.



**Figure 18 - Crapaud calamite et hirondelle des rochers**

À gauche : crapaud calamite (*Epidalea calamita*) mâle. Ce dernier est reconnaissable à ses glandes parotoïdes courtes et jaune-rougeâtre derrière les yeux, ses grosses pustules et sa ligne médio-dorsale claire bien visible. Crédit : Christian Fischer, CC-BY-SA, [Wikimedia](#).  
À droite : hirondelle des rochers (*Ptyognoprogne rupestris*). Crédit : S. Wroza, CC-BY-NC-SA, [Inventaire national du patrimoine naturel](#).

Auteur(s)/Autrice(s) : Voir légende Licence : [CC-BY-NC-SA](#)



**Figure 19 - Carrière de la Clôtre (Lissieu, Monts-d'Or lyonnais)**

L'ancien front de taille abrite le nid d'un grand-duc d'Europe (*Bubo bubo*). Sans l'ouverture de cette carrière, ou si elle avait été remblayée, il n'y aurait pas de grand-duc dans ce secteur des Monts-d'Or en grande banlieue lyonnaise.



Auteur(s)/Autrice(s) : Pierre Thomas Licence : [Reproduit avec autorisation](#)

Les fronts de taille sont des lieux d'accueil privilégiés pour la flore rupicole et pour des espèces d'oiseaux rupestres, comme le grand-duc d'Europe, le faucon pèlerin ou les hirondelles des rochers, et d'oiseaux cavernicoles comme le faucon crécerelle ou le rouge-queue noir, mais aussi pour les chauves-souris et les reptiles. Il est même reconnu en Bretagne que le grand corbeau ne niche aujourd'hui que dans les carrières ou anciennes carrières. De plus, les zones identifiées par le géologue comme intéressantes, voire patrimoniales, seront modelées en tenant compte de leur structure et de leur nature géologique afin de créer des lieux où la géodiversité sera visible et lisible.

Les remblais de matériaux stériles, qui ont des caractéristiques physico-chimiques différentes de celle du substrat de la fosse, voient se développer des habitats de grand intérêt et utiles à certains insectes butineurs ou fouisseurs, à leurs prédateurs, aux reptiles, aux oiseaux de milieux ouverts ou même à certains mammifères.

Il est donc important pour les futurs projets de maintenir des zones rocheuses sans recouvrement total. L'idée est aussi de regarder les affleurements rocheux à proximité de la carrière afin de répliquer leur topographie ce qui permettrait de faciliter la colonisation par des espèces locales.

« *Les carrières créent des bouleversements et sont aussitôt colonisées par des espèces tout à fait particulières* », affirme en 2008 Olivier Gabory, directeur du CPIE Loire et Mauges<sup>[18]</sup> et continue en précisant : « *sans nier qu'il puisse y avoir des incompatibilités directes, reconnaissons qu'il y a aussi de véritables opportunités* ». Une étude menée par la LPO (Ligue de protection des oiseaux) Aquitaine sous la responsabilité de Denis Vincent, a montré que d'anciennes carrières de roches massives, autant que d'anciennes gravières, servent parfois de zones refuges pour un grand nombre d'espèces, du fait que ces espaces délaissés sont souvent difficilement accessibles. Dans un premier temps, la carrière jouera un rôle de refuge pour les espèces qui, progressivement, essaïmeront en périphérie. La biodiversité s'étend au voisinage. Les écologues parlent de puits de biodiversité.

**Figure 20 - Développement du lichen *Chrysothrix chlorina* dans des terriers fossiles**



Affleurement rocheux, lieu d'observation du potentiel de biodiversité proche de la carrière, colonisé par des mousses et des lichens au niveau des fractures (Roc au Chien, Orne). Le lichen *Chrysothrix chlorina*, espèce stégophile (se développant dans des milieux non touchés par les précipitations) occupe ici préférentiellement d'anciens terriers verticaux (érodés) laissés par des annélides dans le sable du fond de la mer ordovicienne il y a 470 millions d'années (désormais un grès), terriers aujourd'hui partiellement protégés de la pluie.

Auteur(s)/Autrice(s) : I. Aubron

Ainsi, contrairement à une idée reçue - il est vrai que cela semble contre-intuitif - les carrières et les roches qu'elles révèlent sont des milieux propices à l'expression d'une riche biodiversité.

## 8. Relief et biodiversité

### 8.1. Altitude et biodiversité

Une relation évidente existe entre certains reliefs et les différences d'altitude qui en résultent, et les organismes vivants. On ne trouve pas des chamois, des lagopèdes et des edelweiss, espèces de montagne, mélangés avec des canards et des perdrix grises, espèces de plaine. De même, quand on voit un edelweiss on pense à la montagne alors que le coquelicot évoque les plaines céréalières.

### Figure 21 - La biodiversité varie selon l'altitude

A : La perdrix grise (*Perdix perdix*) vit dans les plaines ouvertes.

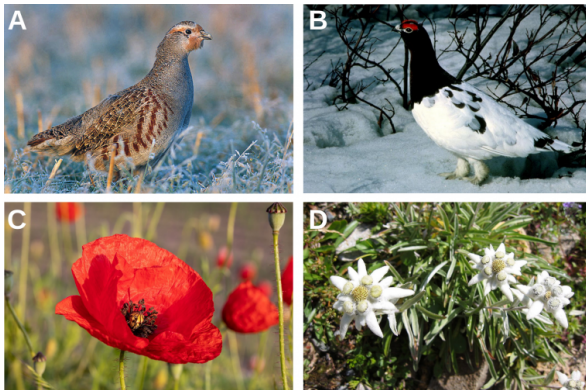
B : Le lagopède des saules (*Lagopus lagopus*), vit généralement au-dessus de 1800 m d'altitude.

C : Le coquelicot (*Papaver rhoeas*) se retrouve dans les plaines, en particulier au niveau des champs.

D : L'edelweiss (*Leontopodium alpinum*) est une plante de montagne.

Crédits : A : Marek Szczepanek, CC BY-SA, [Wikimedia](#) ; B : Tim Bowman / USFWS, domaine public, [USFWS National Digital Library](#) ; C : Dietmar Rabich, CC BY-SA, [Wikimedia](#) ; D : Rollopack, domaine public, [Wikimedia](#).

Auteur(s)/Autrice(s) : Voir légende  
Licence : [Voir légende](#)



## 8.2. Les pierriers

Les pierriers et les éboulis constituent souvent un milieu moins hostile que les rochers nus car ils retiennent plus de terre et d'humidité. Les plantes qui y croissent doivent toutefois être adaptées dans certains cas au mouvement des rochers et doivent donc être capables de se régénérer rapidement en cas de destruction partielle. Ces plantes possèdent souvent un rhizome ramifié, rampant et profondément enraciné qui leur permet d'émettre des tiges en plusieurs points (*Trisetum distichophyllum*, *Crepis pygmaea*). Les éboulis stabilisés, surtout ceux composés de petits blocs qui retiennent mieux la terre, évoluent généralement vers une pelouse.



Figure 22 - Un lichen (*Cladonia portentosa*)

Auteur(s)/Autrice(s) : Randal Licence : [Domaine public](#) Source : [iNaturalist](#)

La surface des pierriers est souvent soumise à de forts contrastes de température, même dans les régions septentrionales de la France. Alors que les hivers il peut y geler très fortement ( $-5$  à  $-10$  °C), en été leur température de surface peut atteindre  $50$  à  $60$  °C, si bien que seuls des lichens encroûtants réussissent à s'implanter (tel *Xanthoparmeliapulla*). Il existe aussi une grande différence entre les parties exposées au soleil et celles qui sont

toujours à l'ombre.



**Figure 23 - Une mousse (*Racomitrium lanuginosum*) sur du basalte en Islande.**

Auteur(s)/Autrice(s) : Manfred Morgner  
Licence : [CC-BY-SA](#) Source : [Wikimedia](#)

Dans ces pierriers, de nombreuses cavités existent, d'autant plus s'ils sont constitués de gros blocs. Ces anfractuosités offrent fraîcheur, ombre et humidité favorables à l'installation de mousses (bryophytes) ou d'hépatiques, que l'on ne trouve sinon qu'à des latitudes plus importantes.

## CRÉDITS

### AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

[Patrick De Wever](#)

Professeur émérite de géologie au Muséum national d'Histoire naturelle.

### MISE EN LIGNE

[Olivier Dequincey](#)

Professeur agrégé de SVT. Docteur ès sciences de la Terre. Responsable éditorial du site Planet-Terre depuis septembre 2006.

### LICENCE DU TEXTE DE L'ARTICLE



### PARTENAIRE(S)



Cet article a été initialement publié sur Planet-Terre, l'homologue de Planet-Vie pour la géologie.

[La géodiversité, socle de la biodiversité 1/3](#)

## NOTES

1

R.R. Brooks, 1972. *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*, Harper and Row pub., New York, 290p. – R.W.G. Wyckoff, 1978. *L'interdépendance du monde des minéraux et de la matière vivante*, Bull. Minéral., 101, 2, 148-154.

2

N. Priyadarshi, 2010. *Geobotanical methods for prospecting uranium deposits – Plants can also help us in finding uranium* [consulté 02/2022]

3

M. Lintern, R. Anand, Ch. Ryan, D. Paterson, 2013. *Natural gold particles in Eucalyptus leaves and their relevance to exploration for buried gold deposits*, Nature Communications, 4, 2614, *Open access*

4

T. Bohu, R. Anand, N. Noble, M.Lintern, 2019. *Evidence for fungi and gold redox interaction under Earth surface conditions*, Nature Communications, 10, 2290

5

T. Vogt, 1942. *Geokzemisk og geobotanisk malmleting-2 Viscaria alpina (L.) G Don som "kisplante"* [*Geochemical and geobotanical prospecting-2 Viscaria alpina (L.) G Don as a pyrite plant*], Kron. norsk Vidensk. Selsk. Forh., v.15, 2, 5-8

6

Le Suc de Clava ou Suc de Clara (sur le cadastre), pour Mont Clair. Les paysans du coin l'appellent aussi Montagne pelée ou Mont Chauve.

7

Une nuit sur le Mont Chauve est un poème symphonique écrit par Modeste Moussorgski (1867). La pièce est inspirée d'un poème de Nicolas Gogol (1830) qui met en scène le sabbat de sorcières dans *La nuit de la Saint-Jean*.

8

C. Oze, C. Skinner, A.W. Schroth, R.G. Coleman, 2008. *Growing up green on serpentine soils: Biogeochemistry of serpentine vegetation in the Central Coast Range of California*, Applied Geochemistry, 23, 12, 3391-3403. Les auteurs fournissent les données suivantes. En comparant un sol sur serpentinite par rapport à un sol sur *chert* (silice), le fer est 5 à 10 fois plus important, le potassium est 2 fois moindre, le cobalt est 10 fois plus important, le chrome est 10 à 20 fois plus important (et même dans des quantités qui représentent un danger pour la santé), le manganèse est 2 fois plus abondant, le nickel est 10 à 20 fois plus important. Le rapport magnésium/ calcium est 2 à 3 fois plus élevé que la normale alors que le Ca est égal, voire un peu inférieur à la normale.

9

A. Chiarucci, D. Rocchini, C. Leonzo, , 2001. *Test of vegetation-environment relationship in serpentine soils of Tuscany, Italy*, Ecological Research, 16, 627-639

10

Le mot "puy" provient du mot Nord-occitan "puèj", plutôt décliné en "puech" en occitan du Sud. Ce terme, dérivé du latin *podium* (=petite éminence), désigne un « lieu élevé, hauteur au sommet plus ou moins arrondi ». Aucun lien avec les volcans, si ce n'est que beaucoup des sommets (mais pas tous) plus ou moins arrondis du Massif Central sont des volcans. Sommets volcaniques appelés "puys" bien avant 1751, date à laquelle Jean-Étienne Guettard (1715-1786) proposa que les montagnes dominant Clermont-Ferrand étaient des volcans.

11

Cette partie est inspirée de F. Meilliez F., P. De Wever P., 2020. *Des plantes pour nettoyer les sols*, *Géochronique*, 155, 56-57.

12

On consultera aussi, sur ce thème, l'article de D. Baize, 2021, *Que faire face à des sols pollués par des métaux ?*, Planet-Terre.

13

Partie inspirée de L. De Wever et coll., 2020. *Les carrières des opportunités pour la biodiversité*, *Géochronique*, 156, 53-55.

14

*Synthèse des rencontres 2008-2009 – Les carrières, une opportunité pour la biodiversité*, UNICEM-UNPG édit., 2011, 23p. Rencontres qui se sont tenues entre novembre 2008 et octobre 2009 ainsi qu'un forum national tenu au Muséum national d'histoire naturelle en novembre 2009.

15

D. Voeldzel, Y. Février, 2010. *Gestion et aménagements écologiques des carrières de roches massives. Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières*, ENCEM, REA A5 11 G, 232p.

16

J.-Cl. Lefeuvre, 2010. *Carrières, biodiversité et fonctionnement des hydrosystèmes*, Buchet-Chastel, Paris, 381p. [extrait]

17

Une ancienne gravière de la Loire é été aménagée en réserve naturelle vers 1987, suite à une politique basée sur le dialogue avec le monde de l'industrie du granulat, les administrations et les collectivités impliquées dans la gestion du fleuve. Cette concertation a débouché sur le dépôt de projets basés sur l'observation de la nature.

18

O. Gabrory dans *Synthèse des rencontres 2008-2009 – Les carrières, une opportunité pour la biodiversité*, UNICEM-UNPG édit., 2011, page 13.