Géobiodiversité : l'influence de la géologie sur la biodiversité

Pierre Nehlig, Emmanuel Egal

▶ **To cite this version:**

Pierre Nehlig, Emmanuel Egal. Géobiodiversité : l'influence de la géologie sur la biodiversité. Géosciences, 2010, 11, p. 10-19. hal-00520896

HAL Id: hal-00520896
https://brgm.hal.science/hal-00520896

Submitted on 24 Sep 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Géobiodiversité : l'influence de la géologie sur la biodiversité

La géologie est la composante du paysage la plus difficile à appréhender dans les milieux où l'occupation biophysique et anthropique du sol multiplie les masques. Elle détermine pourtant largement la nature des habitats naturels et l'usage que l'homme a pu en faire. Cet article explore les liens entre géodiversité et biodiversité en se focalisant sur l'influence de la nature du sous-sol sur la biodiversité.

Surface cordée de la coulée de lave de l'éruption d'août 2004 du Piton de la Fournaise (La Réunion) avec un moulage en position de vie d'un arbre calciné dans lequel se sont accumulés des débris de lave qui ont permis à une graine de germer et de prendre racine.

The corded surface of a lava flow from the 2004 eruption of the Piton de la Fournaise volcano (La Réunion Island). It contains the vertical cast (standing as in life) of a burnt tree, where lava debris accumulated that allowed a seed to sprout and take root.

© M. Kerneis - Photo prise début 2005.

Pierre Nehlig
Service Géologie
BRGM
p.nehlig@brgm.fr

Emmanuel Egal
Service Géologie
BRGM
e.egal@brgm.fr

Les progrès de la connaissance des lois régissant les relations entre les êtres vivants et leurs milieux, associés au caractère non renouvelable d'un grand nombre de ressources naturelles, ont conduit à une prise de conscience du caractère patrimonial de la biodiversité intraspécifique, interspécifique et écosystémique.

Le maintien de cette biodiversité émerge comme un enjeu fondamental principalement parce que les interactions entre ses différentes composantes – y compris ses liens avec la nature géologique du sous-sol – restent mal connues. Mais aussi, parce qu'il serait paradoxal de la laisser s'appauvrir à une époque où les progrès en biologie moléculaire ouvrent de nouvelles voies de recherche pour la compréhension de la spéciation, la classification des êtres vivants et leur évolution. De plus, le génie génétique offre de nouvelles perspectives, notamment en matière de pharmacologie et d'amélioration qualitative et quantitative des productions végétales et animales. Encore faut-il préserver toute la richesse du matériel de base, les gènes.

La richesse de la biodiversité est le résultat de l'Évolution et de l'interaction avec les facteurs environnementaux. Parmi ces derniers, c'est la diversité des conditions environnementales, leur variabilité temporelle et – surtout – l'isolement (« l'insularité ») de certaines populations qui ont conduit à une biodiversité d'une telle richesse. L'endémisme qui caractérise certaines îles ou continents en est la preuve la plus marquante. Très tôt a aussi été reconnue la valeur « insulaire » de certains milieux géologiques : substrats calcaires dans des environnements siliceux, karsts, roches ultrabasiques... En effet, la nature des roches du sous-sol est un paramètre important dans la distribution des habitats et des espèces de notre planète [Gray (2004) ; *English Nature* (2004)]. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder les paysages. Ce ne sont pas toujours les barrières climatiques ou topographiques qui expliquent l'enchaînement des types d'occupation du sol par la végétation mais bien la nature du substrat minéral qui a guidé l'exploitation que l'homme a pu en faire. Ainsi dans la directive européenne « Habitats Faune Flore » qui liste un ensemble d'habitats et d'espèces à sauvegarder en priorité, les deux tiers sont déterminés par un critère lithologique ou géomorphologique.

L'objectif de cet article est d'examiner l'influence de la nature lithologique du sol sur l'occupation des sols et les habitats et donc de montrer le lien étroit entre biodiversité et géodiversité. La géodiversité désigne la diversité du monde abiotique. Ce néologisme peut être défini comme la variété des roches, des géomorphologies, des sols et des processus naturels qui les forment, les modifient, et déterminent l'aspect particulier d'un paysage. Les processus géologiques interviennent également de manière plus indirecte sur la biodiversité, notamment à travers les phénomènes tectoniques qui modèlent le relief et interagissent avec le climat.

La géodiversité et la biodiversité font partie des plus grandes richesses de la planète et sont pourtant parmi les moins reconnues. C'est ainsi que dans la liste des sites du patrimoine mondial de l'humanité de l'Unesco, le patrimoine naturel (176 sites) est très largement sous-représenté par rapport au patrimoine culturel (689 sites), 25 sont mixtes (http://whc.unesco.org/fr/list).

Les roches et les sols : substrat de la géodiversité

Contrairement aux domaines océaniques plus homogènes (notamment d'un point de vue géologique), la biodiversité terrestre répond à la diversité des milieux continentaux conditionnés par le climat, l'altitude, la nature des substrats géologiques et l'histoire géologique, qui a permis à des îles et des continents d'évoluer en « milieu fermé ». Leurs variations y déterminent une mosaïque de biotopes qui a, en outre, largement subi l'influence de l'Homme.

La géométrie de la surface terrestre et donc son relief, son altitude et son orientation sont contrôlés par la dynamique géologique. Et là où le climat, le relief et les interventions humaines ne varient pas, la diversité des types de roches peut influencer la distribution de la végétation directement ou au travers des produits d'altération de ces roches qui influencent la chimie des sols, leur granulométrie, leur texture, leur porosité, leur perméabilité, leur minéralogie, la chimie des eaux... Des différences de pH dans le sol ont un impact majeur sur les capacités d'ingestion d'éléments par les plantes.

Les roches sont généralement classées en fonction de leurs compositions minéralogiques et de leur organisation minéralogique et granulométrique interne (leurs texture et structure). La majorité des roches est constituée de minéraux de la « famille » des silicates. Les calcaires, formés de carbonates de calcium, constituent un deuxième grand ensemble de roches. D'autres roches peu développées à l'échelle du globe présentent des compositions encore différentes, telles les roches évaporitiques à sels. Les roches terrestres ont donc des compositions chimiques parfois très contrastées, avec de nombreuses nuances et compositions intermédiaires.

Les processus d'altération des roches en surface (processus « supergènes ») vont entraîner des modifications de la composition physique et chimique de ces roches et donc ajouter une nouvelle composante de

« La géodiversité et la biodiversité font partie des plus grandes richesses de la planète. »

Photo 1 : Murs en roches basiques métamorphiques et pierres ouvragées en granite des ruines de la chapelle de Languidou (Finistère) peuplés de lichens, colonies issues de la symbiose d'un champignon et d'une algue. On note une nette différence entre le peuplement lichénique du petit appareil de roches basiques et celui des roches plus riches en silice de la rosace.

Photo 1: Walls built of basic metamorphic rock and sculpted granite in the ruins of Languidou Chapel (Finistère Department), hosting lichens, symbiotic colonies of fungi and algae. A sharp contrast is observed between populations on the rubble masonry of basic rocks and those on the silica-rich elements of the rose window.

© P. Nehlig, 2008.

géodiversité au substrat rocheux. Les sols représentent la partie la plus superficielle et meuble du substrat rocheux altéré. Pour les pédologues, ils sont limités à la partie enrichie en matière organique qui supporte la végétation. Il n'y a cependant pas de définition simple et universelle du sol. Certains géologues et géotechniciens le définissent comme une roche généralement non consolidée qui affleure à la surface et qui surmonte une roche consolidée non altérée par des processus supergènes.

Les roches altérées et/ou les sols sont le reflet des roches qui leur ont donné naissance, que ce soit dans leurs propriétés physiques ou chimiques. Ils sont constitués d'une portion minérale qui renferme principalement des minéraux siliceux et argileux et d'une portion de matière organique, ainsi que d'eau et d'organismes vivants. Les sols se présentent sous une grande variété de textures qui sont principalement liées à l'abondance relative de sable, de silt et d'argile. Ils peuvent renfermer des zones toujours sèches et des micropores presque toujours saturés en eau sauf en période de grande sécheresse. La proportion et la nature de la matière organique varient spatialement et avec la profondeur.

L'influence des roches mères prédomine largement lors des premiers stades d'altération et de formation des sols (*photo 1*). D'autres facteurs d'origine climatique ou biologique interviennent ensuite [Nahon (2008)]. La durée de formation des sols peut être très importante, et beaucoup de sols ont connu des climats et des végétations différents de ceux d'aujourd'hui.

Les Cévennes, une biodiversité naturelle et culturelle bien géologique

Jacques Varet – Président du Conseil scientifique du Parc national des Cévennes – j.varet@brgm.fr

Comme les autres Parcs nationaux, les Cévennes représentent un espace remarquable – et à ce titre protégé – pour la biodiversité ; espace par ailleurs reconnu comme « réserve de biosphère » par le programme MAB (*Man and Biosphere*) de l'Unesco. Or, lorsque l'on cherche à identifier, au sein de ces lieux, les sites les plus remarquables en espèces classées ou en biotopes identifiés comme les plus riches, il s'agit le plus souvent de sites géologiques particuliers. C'est le cas d'une formation minérale ou géologique spécifique (comme un plateau calcaire ou une falaise schisteuse) ou d'un contact géologique, lieu souvent favorable à l'émergence de sources ou de zones humides. On vérifie ici que le milieu physique joue un rôle déterminant pour les systèmes et les espèces biologiques.

Ainsi, les trois grands types de formations géologiques caractéristiques des Cévennes, qui sont par ordre d'âge décroissant[1] :
– les schistes des vallées cévenoles ;
– les granites des monts Aigoual-Liron et Lozère ;
– les calcaires et les grès du Causse Méjean ou des contreforts des basses Cévennes ;
représentent également les trois grands systèmes de diversité biologique de l'espace cévenol. Le sous-sol détermine largement, tant par la minéralogie et la chimie des sols que par les régimes hydriques qui en résultent, la nature des systèmes vivants susceptibles d'y « prendre racine ». Pour ne citer que quelques exemples emblématiques :
– le chêne-vert et l'arbousier des schistes, où domine l'élevage caprin ;
– le genêt, le châtaignier, les résineux et la lande des granites, où domine l'élevage bovin ;
– les buis et les prairies calcicoles des Causses où domine l'élevage ovin.

Point remarquable en Cévennes et caractéristique fréquente de nos paysages (cf. n° 7/8 de *Géosciences*), la géologie ne détermine pas seulement la faune et la flore, mais aussi la biodiversité culturelle. L'espace construit par l'homme est lui aussi caractéristique de la géologie du site sur lequel toute implantation humaine est développée. C'est à ce titre que cet espace a été jugé représentatif du concept *Man and Biosphere* par l'Unesco. Cette caractéristique ne pèse pas seulement sur le mode d'occupation de l'espace et la dimension architecturale. Elle s'inscrit aussi dans la dimension spirituelle de la culture : l'habitat humain, mais aussi l'expression même de sa pensée et de ses valeurs apparaissent largement reliées au milieu naturel – notamment géologique – sur lequel ils se « fondent ».

Dans les vallées cévenoles notamment, cet espace de vie autonome a été construit en symbiose étroite avec la nature : depuis le captage de la source, avec le béal[2] , les bancels[3] secs ou irrigués, la clède pour sécher la châtaigne, la magnanerie pour élever les vers à soie, jusqu'à la filature en contrebas pour capter la force motrice du cours d'eau. Un espace conquis dans un environnement où les Psaumes de David entrent en résonance avec la nature[4]. Un espace où l'on acquiert dès l'enfance un sens aigu de l'autonomie, une capacité à vivre en hommes et femmes foncièrement épris de liberté de conscience.

(1) – PNC : Roches, géologie et paysages du parc national ; Revue Cévennes, n° 23 : (réédition en cours).
(2) – Dans le Midi, nom d'un petit cours d'eau.
(3) – Terrasses
(4) – P. Cabanel : Cévennes, un jardin d'Israël, L'Hydre éditions, 2004.

Vallées cévenoles schisteuses, vue prise près du col de l'Asclié.
Schistose valleys in the Cévennes region, viewed from near the Asclié gap.
© J. Varet.

Le chaos de granite du Mont Lozère.
The granite boulder field on Mount Lozère.
© BRGM im@gé, F. Michel.

Une doline, sur le Causse de Sauveterre, en Lozère.
A sinkhole on the Causse de Sauveterre (Lozère Department) .
© BRGM im@gé, N. Dörfliger.

Les végétaux chlorophylliens se nourrissent par la tête et par les pieds

Chez les animaux, les aliments organiques apportent l'énergie et la matière, sous forme concentrée. Situés au contact du sol et de l'atmosphère, les végétaux puisent dans ces deux milieux, à travers leurs surfaces d'échanges avec l'environnement, les substances dont elles ont besoin. Le carbone est prélevé directement dans l'air. Avec l'eau du sol, les plantes prélèvent aussi les composés phosphatés et azotés ainsi que les éléments minéraux et les oligo-éléments indispensables. Le CO_2 ne représente que 0,038 % du volume de l'atmosphère actuel, et l'eau du sol ne contient que quelques milligrammes par litre des ions nécessaires aux plantes. Cela oblige les plantes à développer de grandes surfaces d'échange avec l'environnement pour pallier la dilution des sources d'énergie (solaire) et de matière (carbone et ions minéraux).

Association entre roches et plantes : les plantes calcicoles et les plantes calcifuges

Lorsqu'on aborde le lien entre la constitution géologique des sous-sols et la nature des habitats qui les surmontent, une des premières subdivisions introduite concerne les plantes calcicoles (qui aiment les calcaires) et les plantes calcifuges (qui évitent les calcaires) (*photo 2*). Cet aspect de l'écologie des plantes a été reconnu par les naturalistes depuis longtemps et est pris en compte par les jardiniers et les horticulteurs.

La subdivision entre plantes calcicoles et calcifuges n'est pas simple. Mais, sur la base d'observations floristiques, de nombreux botanistes sont capables d'en déduire la nature calcaire ou non du sol tandis que les géologues cartographes se servent aussi de ces précieux indicateurs floristiques pour réaliser les cartes géologiques.

Des tests de plantation de plantes calcifuges sur des sols calcaires produisent généralement des plantes au feuillage jaunâtre (= chlorose) [Bournérias et Bock (2006)]. De même, beaucoup d'espèces calcicoles ne peuvent être cultivées sur sols acides. De nombreux travaux ont montré que la présence de calcium n'est pas toujours le facteur principal dans la présence ou l'absence de plantes calcicoles ou calcifuges. Il apparaît que le facteur principal est le pH, qui affecte la solubilité d'un grand nombre d'éléments dans les sols. Sur sols acides (*encadré*), de nombreuses plantes

Photo 2 : Lande à bruyère et ajonc sur un granite de la baie d'Audierne (site de Menez Drégan, pointe du Souc'h).
La lande est l'un des paysages les plus typiques de la Bretagne. C'est une formation végétale basse inférieure à 2 mètres, établie sur des sols siliceux, acides et chimiquement pauvres, où dominent la bruyère et l'ajonc.

Photo 2: Moorland with heather and gorse growing on Baie d'Audierne granite (Menez Drégan site, Pointe du Souc'h). Moors are one of Brittany's most typical landscapes. They feature low-storey vegetation less than 2 m high, rooted in acidic soils rich in silica and chemically impoverished, where heather and gorse are the dominant species.

© P. Nehlig, 2009.

► Roches acides ou basiques ?

Ces termes largement utilisés pour décrire les roches magmatiques sont à l'origine d'une grande confusion. En géologie, on dit qu'une roche est acide si elle renferme plus de 63 % de silice. La silice, qui est un accepteur d'ion oxyde O^{2-}, est acide ($SiO_2 + H_2O = H_2SiO_3$). Réciproquement, une base est une espèce pouvant céder un ion oxyde O^{2-}. Par exemple, l'oxyde de calcium CaO est une base, car dans la réaction $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$, le CaO cède son ion oxyde ($CaO \rightarrow Ca^{2+} + O^{2-}$) qui est capturé par l'eau ($O^{2-} + H_2O \rightarrow 2OH^-$).
Ainsi, les qualificatifs « acides » et « basiques » ne font pas directement référence aux roches, mais au pH d'équilibre du fluide en contact avec la roche : H_2SiO_3 ($H_2SiO_3 = HSiO_3^- + H^+$) étant stable en milieu acide, tandis que $Ca(OH)_2$ ($Ca(OH)_2 = Ca^{2+} + 2OH^-$) est stable en milieu basique.

Une roche est considérée comme acide ou basique en fonction de la quantité de silice qu'elle contient :

> 63 %	roche acide	granite, rhyolite...
52-63 %	roche intermédiaire	diorite, andésite...
45-52 %	roche basique	gabbro, basalte...
< 45 %	roche ultrabasique	péridotite...

Ainsi les roches riches en silice sont acides, les roches riches en calcaire sont basiques.

Les précipitations de type « pluies acides » résultant de la présence de polluants atmosphériques, tels que le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x), sont susceptibles de modifier le pH des sols et donc la nature de la végétation. Quand les sols ne sont pas suffisamment alcalins (granites, grès et sables) et qu'ils ne parviennent pas à neutraliser naturellement les précipitations, ils sont particulièrement sensibles aux pluies acides.

calcicoles ne peuvent pas pousser, car elles ne tolèrent pas les niveaux élevés d'aluminium que l'on y trouve. De même, la chlorose dans les plantes calcifuges est due au fait que sur les substrats calcaires le fer est insoluble : ces plantes produisent donc difficilement la chlorophylle, ce qui conduit à leur coloration jaune.

Le sol, réserve de la biodiversité

La biodiversité telle qu'on l'entend souvent est limitée à la variété d'animaux et de plantes visibles dans un habitat particulier. On pense moins naturellement aux champignons, aux bactéries, aux archées et à l'ensemble des organismes vivants qui se développent dans les sols et représentent pourtant, et de loin, la plus grande part de la biodiversité. Pourtant, l'abondance, la diversité et l'activité des organismes que l'on y trouve jouent un rôle primordial dans leur formation et leur évolution en décomposant les résidus d'animaux et de végétaux, en les minéralisant et en les incorporant au sol. Ils participent ainsi au recyclage du carbone et des nutriments minéraux.

L'origine de l'abondance des organismes vivants dans les sols est liée à la texture des sols et à leur importante hétérogénéité. Certains sols peuvent connaître une porosité de 50 %, avec des surfaces de pores gigantesques pour les sols argileux. Cette surface diminue avec la granulométrie des sols. La variabilité des porosités, des capacités de rétention d'eau et des surfaces d'échanges chimiques a d'importantes incidences sur la biodiversité des sols.

De nombreux végétaux aériens survivent grâce à une étroite association avec la biodiversité du sol. Ainsi, on sait maintenant que près de 90 % des plantes à fleurs sont mycorhizées (association racines et champignons), notamment celles qui vivent dans des milieux difficiles, comme les tourbières ou les sols extrêmement pauvres et acides des podzols. L'utilisation de substances marquées (isotopes radioactifs...) montre que le mycélium des champignons mycorhiziens est capable de drainer à grande distance, à partir d'un volume considérable de sol, l'eau et les ions minéraux et de les transporter sélectivement jusqu'aux racines des arbres. Cette activité biologique dans les sols contribue à accélérer l'altération des roches et des minéraux qu'elles contiennent.

> *« L'origine de l'abondance des organismes vivants dans les sols est liée à la texture des sols et à leur importante hétérogénéité. »*

L'influence de la roche sur la biodiversité - La Nouvelle-Calédonie

Pierre Maurizot – BRGM Nouvelle-Calédonie – p.maurizot@brgm.fr – **Tanguy Jaffré** – IRD Nouméa – Tanguy.Jaffre@noumea.ird.nc

Le tiers de la superficie de la Nouvelle-Calédonie est occupé par des roches ultrabasiques caractérisées par une faible teneur en silice et une forte teneur en métaux, y compris de métaux lourds. Ces roches originaires du manteau terrestre ont été mises en place sur le substrat continental calédonien à la faveur de la subduction de ce dernier sous la plaque pacifique au début de l'Éocène (55 Ma) puis de son exhumation vers 34 Ma. Cette nappe et ses témoins (« klippes ») satellites constituent ainsi les reliefs les plus élevés de l'île, couramment supérieurs à 1 000 mètres. Au long isolement en milieu intra-océanique vient donc s'ajouter un facteur supplémentaire de sélection fortement lié à la nature du substrat. Les divergences évolutives et les radiations des lignées floristiques et faunistiques ont eu pour conséquence un taux d'endémisme élevé et une biodiversité exceptionnelle.

Latex coloré en bleu de l'espèce Sebertia acuminata.

Blue coloured latex of the species Sebertia acuminata.

© Base Indigo IRD, T. Jaffré.

En milieu tropical, les roches ultrabasiques sont très sensibles à l'altération chimique qui karstifie la roche tout en laissant un résidu important. Ainsi se forment de grandes épaisseurs de latérites essentiellement composées d'oxydes et hydroxydes de fer, cuirassées à leur sommet. Les conditions physiques et chimiques de ces milieux sont sévères. La température de la cuirasse composée à plus de 98 % d'oxyde de fer peut atteindre dans certaines conditions 70 °C au soleil. L'eau des rivières a couramment un pH de 7,5. Qu'ils se développent directement sur les roches ultrabasiques ou sur leurs manteaux d'altération, les sols de ces domaines sont fortement carencés en azote, phosphore, potassium et calcium. Ils sont par ailleurs excessivement riches en fer et magnésium. Le nickel, le manganèse ou le chrome, à des concentrations anormalement élevées, peuvent dans certaines conditions se trouver sous forme facilement assimilable par les plantes et se révéler toxiques.

Le bios a cependant réussi à s'adapter à ces conditions extrêmes. L'évolution a sélectionné sur ces terrains des espèces végétales disposées à une plus ou moins grande « limitation » de leurs besoins en différents éléments nutritifs (N, P, K, Ca), à croissance lente, fructification et germination irrégulières et peu fréquentes, capables d'une absorption sélective de certains éléments, souvent favorisée par des associations symbiotiques avec des bactéries ou des mycorhizes. Deux processus évolutifs semblent avoir réussi: l'acquisition de caractères de tolérance à une nutrition appauvrie et l'acquisition de caractères de résistance à une ressource toxique. Sur les sols anormalement riches en nickel ou manganèse assimilables, la plupart des espèces « limitent » la pénétration de ces métaux dans leurs tissus, tandis que d'autres en accumulent des quantités importantes (supérieur à 0,1 % rapportées à la matière sèche) dans leurs feuilles sans être intoxiquées. Une quarantaine d'espèces de plantes hyper-accumulatrices ont été recensées. Des teneurs de plus de 1 % de nickel ou manganèse foliaire ont été enregistrées chez une dizaine d'espèces et des teneurs en nickel supérieures à 20 % dans le latex (coloré en bleu-vert) de *Sebertia acuminata*, véritable « arbre à nickel » appelé « sève bleue » par les forestiers (*photo*).

La flore indigène des plantes vasculaires en contexte ultrabasique totalise 2 170 espèces, dont 1 740 (plus de 80 %) sont endémiques de la Nouvelle-Calédonie. Ce fort endémisme est le résultat de phénomènes de radiations intervenus à partir d'espèces pré-adaptées. Ces phénomènes ont été intensifiés par le découpage du feuillet ultrabasique initial en plusieurs massifs perchés, isolats écologiques au sein de l'île, qui ont leurs propres espèces endémiques.

La faune des massifs ultrabasiques (arthropodes, mollusques, reptiles), dépendante en grande partie de la flore, est également marquée par une forte endémicité. L'homme lui-même ne s'est pas établi à l'intérieur des zones ultrabasiques, seule la frange littorale étant de loin en loin occupée par quelques tribus.

L'homme renforce le lien entre la biodiversité et son substrat

L'influence humaine a été essentielle dans la répartition des habitats telle que nous la voyons aujourd'hui [Bournérias et Bock (2006) ; Blandin (2010)]. La végétation et une grande part de la diversité des habitats ont été modifées par l'homme et sont le résultat de millénaires d'aménagement de l'espace. Sans l'intervention humaine, la France ne présenterait pas sa diversité paysagère. Seuls quelques rares habitats non modifiés par l'homme existent encore sur le territoire métropolitain. Ainsi, les milieux difficiles, où l'homme a renoncé à établir ses cultures, sont propices à la différenciation et/ou à la conservation des espèces endémiques. Il s'agit essentiellement de milieux littoraux, humides, de zones de montagne et de quelques milieux subdésertiques périméditerranéens. Ailleurs, l'activité humaine a pour une grande part masqué et modifié les effets des processus géologiques sur la faune et la flore. Cela s'est-il traduit par une homogénéisation ou une exacerbation des habitats ? Il semblerait que la révolution néolithique

Les liens entre nature géologique du proche sous-sol et occupation végétale, animale et humaine des sols, sont étroits.

se soit traduite par une diversification accrue et par un renforcement du lien entre géodiversité et biodiversité. Pour Bournérias et Bock, avant les premiers déboisements des zones basses, les particularités entre zones géologiques étaient certainement moins perceptibles qu'aujourd'hui et devaient se traduire par de subtiles différences dans les essences forestières et les structures du sol. Le déboisement et le développement de l'agriculture ont renforcé cette différenciation. Certaines zones ont été préférentiellement sélectionnées (pour partie sur des critères géologiques) pour y faire pousser certaines espèces, et les communautés florales et faunistiques s'y sont adaptées. D'autres secteurs aux sols trop pauvres sont restés boisés ou ont été transformés en pâturages. À l'échelle locale, effectuons par exemple le trajet Paris-Orléans par le train. À la ville de Paris installée *pro parte* sur les alluvions de la Seine succède la forêt de Fontainebleau dont le sous-sol composé principalement de sable siliceux très pur interdit toute agriculture intensive. Puis vient la Beauce avec ses champs de céréales à perte de vue. Installé sur des calcaires karstiques et enrichi en surface par des limons d'origine éolienne, le sol de Beauce est bien drainé et propice à la culture. Peu avant Orléans, les champs de céréales laissent place à la forêt d'Orléans installée sur les sables de Sologne qui débordent en rive droite de la Loire. La ville d'Orléans est implantée dans et en bordure du lit majeur de la Loire.

À une autre échelle, la mise en parallèle de la carte géologique de France à 1/1 000 000 et de la couverture CORINE Land Cover à 1/100 000 montre les liens étroits qu'il peut y avoir entre nature géologique du proche sous-sol et occupation végétale, animale et humaine des sols et permet de les quantifier. La base de données géographique CORINE Land Cover est un inventaire biophysique produit, maintenu et diffusé par le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable en France (http://www.ifen.fr). Elle fournit une information géographique hiérarchisée en trois niveaux avec 44 codes caissons utilisables au 1/100 000. La carte géologique de la France à 1/1 000 000 publiée par le BRGM (http://www.brgm.fr) en 2003 est la synthèse de plus de 1 000 cartes à l'échelle du 1/50 000. Ces documents sont numérisés et disponibles à un format vectoriel, et leur géométrie peut donc être croisée (analyses par correspondances multiples, ACM) afin de mettre en évidence les corrélations entre les codes

L'agriculture céréalière intensive de la plaine de Beauce bénéficie à la fois des limons récents d'origine éolienne et de l'aquifère calcaire sous-jacent.

Intensive grain production in the Beauce plains benefits both from recent loam of eolian origin and from the underlying limestone aquifer.

© Fotolia

Fig. 1 et 2 : À gauche, carte lithologique simplifiée. À droite, carte simplifiée de l'occupation des sols.
La juxtaposition des deux cartes illustre l'important contrôle géologique de l'occupation des sols.

Fig. 1 and 2: Left, simplified lithological map. Right, simplified land-use map. Placed side by side, the two maps illustrate how land use is indeed significantly governed by geology.

© BRGM

© CORINE Land Cover, www.ifen.fr.

Formations sédimentaires
- Argiles
- Craies
- Calcaires
- Sables
- Grès

Formations métamorphiques
- Schistes
- Micaschistes
- Schistes bleu
- Ophiolites
- Gneiss

Formations plutoniques
- Granites

Formations volcaniques
- Basaltes, rhyolites...

Territoires artificialisés
- Territoires artificialisés

Territoires agricoles
- Terres arables
- Prairies
- Autres territoires agricoles

Forêts et milieux semi-naturels
- Forêts de feuillus
- Forêts de conifères
- Autres forêts et milieux semi-naturels

Surfaces en eau
- Surfaces en eau

Zones humides
- Zones humides

Fig. 2 : Zoom sur la région Centre. La juxtaposition des deux cartes illustre l'important contrôle géologique de l'occupation des sols. Les terrains calcaires de la Beauce et du Berry sont occupés par des terres arables alors que les sables et argiles de Sologne et les terrasses de Loire sont recouverts de forêts de feuillus. Les terrains cristallins de la Marche et les grès et argiles du Trias sont occupés pour l'essentiel par des prairies.

Fig. 2: Enlargement of the Region Centre. Placed side by side, the two maps illustrate how land use is indeed significantly governed by geology. The limestone terrains in the Beauce and Berry regions are used as farmland, whereas the sand and clay formations in the Sologne region and on the Loire terraces host forests of deciduous species. The crystalline terrains of the Marche area and the Triassic sandstones and clays are occupied by grassland for the most part.

- **Holocène** Alluvions récentes
- **Holocène** – Moyennes terrasses alluviales
- **Mio-Pliocène à Pléistocène** Hautes terrasses alluviales
- **Miocène moyen à supérieur** Sables et argiles de Sologne
- **Oligocène à Miocène inférieur** Calcaires lacustres de Beauce
- **Oligocène** Calcaires lacustres
- **Éocène** – Sables, argiles, grès, calcaires lacustres
- Argiles à silex
- **Crétacé supérieur** Craie,tuffeau, sables
- **Crétacé inférieur** Marnes, grès
- **Jurrassique supérieur (Malm)** – Calcaires, marnes
- **Jurrassique moyen (Dogger)** Calcaires
- **Jurrassique inférieur (Lias)** Calcaires, argiles
- **Trias** – Grès, argiles
- **Socle cristallin** – Granites, roches métamorphiques

© BRGM

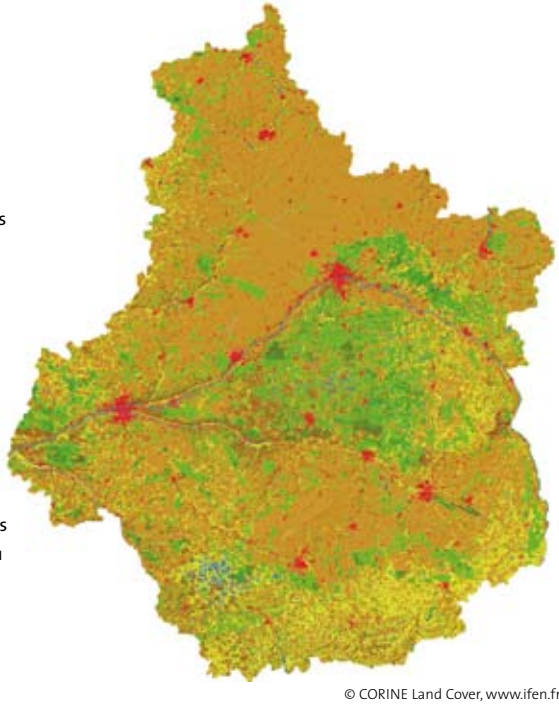
Territoires artificialisés
- Territoires artificialisés

Territoires agricoles
- Terres arables
- Prairies
- Autres territoires agricoles

Forêts et milieux semi-naturels
- Forêts de feuillus
- Forêts de conifères
- Autres forêts et milieux semi-naturels

Surfaces en eau
- Surfaces en eau

Zones humides
- Zones humides



© CORINE Land Cover, www.ifen.fr.

La conservation et la gestion de la géodiversité sont devenues un objet de préoccupation mondiale.

d'occupation des sols de la BD CORINE et les codes lithologiques de la carte géologique (*figures 1 et 2*).

À l'échelle de la France, les terres arables sont principalement installées sur les craies, les marnes et les calcaires (ou les dépôts superficiels de type loess) alors que les prairies sont prépondérantes sur les granitoïdes du Massif armoricain et du Massif central. Quelles différences entre les forêts de conifères et de feuillus ? Si les forêts de feuillus sont préférentiellement situées sur les calcaires, les marnes et les craies, les forêts de conifères sont développées sur sables, grès et granitoïdes.

Connaître pour protéger

La prise de conscience de la diversité des êtres vivants, de son caractère patrimonial et de la nécessité de sa protection s'est concrétisée de diverses manières ; de l'échelle internationale à celle des initiatives privées, les actions sont nombreuses pour protéger les espèces et les espaces qui les accueillent. À l'échelle nationale sont distingués les outils de protection stricte, tels la procédure de classement d'un site, l'arrêté de biotope ou la réserve naturelle, et ceux qui permettent plutôt un suivi et une gestion de l'espace tels le parc naturel régional ou la réserve naturelle associative.

Mais pour protéger et gérer au mieux, il faut avant tout connaître. Différents outils de connaissance du patrimoine naturel ont vu le jour, tel l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique initié en 1982 par le ministère de l'Environnement. L'objectif de cet inventaire est de recenser de manière la plus exhaustive possible les espaces naturels qui abritent des espèces rares ou menacées ou qui représentent des écosystèmes riches et peu modifiés par l'homme.

La conservation et la gestion de la géodiversité sont devenues, après celles de la biodiversité, un objet de préoccupation mondiale. Plusieurs initiatives internationales, nationales et au niveau des collectivités locales se relaient aujourd'hui pour faire reconnaître concrètement le concept de géodiversité et favoriser sa conservation. C'est le cas de l'initiative « Inventaire du Patrimoine Géologique » en France. Lancé en 2007, l'inventaire du patrimoine géologique s'inscrit dans le cadre de la loi du 27 février 2002, relative à la démocratie de proximité. Celle-ci précise que « *l'État [...] assure la conception, l'animation et l'évaluation de l'inventaire du patrimoine naturel qui comprend les richesses écologiques, faunistiques, floristiques, géologiques, minéralogiques et paléontologiques* ». Cet inventaire (http://geologie.naturefrance.fr), réalisé sous la responsabilité scientifique du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) [De Wever *et al.* (2006)] et avec un soutien méthodologique du BRGM, est intégré dans le Système d'information sur la nature et les paysages (http://www.naturefrance.fr) mis en place par le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. Il a pour objectif :

– d'identifier l'ensemble des sites et objets d'intérêt géologique ;
– de collecter et saisir leurs caractéristiques ;
– de hiérarchiser et valider les sites à vocation patrimoniale ;
– d'évaluer leur vulnérabilité et les besoins en matière de protection.

Plusieurs outils juridiques existent et permettent une protection efficace de la géodiversité : Réserve Naturelle Nationale (1976), Réserve Naturelle Régionale (2002), Site Classé (1930), Maîtrise Foncière. Il y manquait un outil d'application rapide. C'est pratiquement chose faite avec le Projet de loi Grenelle 2, qui vise à élargir le champ d'application des arrêtés de protection de biotope aux géotopes et à inscrire les sites d'intérêt géologique dans les articles L411-1, 2 et 3 du code de l'environnement.

On considère aujourd'hui les processus géologiques ou géomorphologiques naturels comme des aléas pour la biodiversité. Pourtant, les phénomènes géologiques passés sont pour une grande part à l'origine de la diversité des habitats que nous connaissons. Les habitats changent, et ce changement produit de la biodiversité. C'est peut-être la principale conclusion que l'on peut tirer des études menées sur les liens entre biodiversité et géodiversité : les processus géologiques et géomorphologiques sont multiples et conduisent à de la diversité dans les sols et dans les interactions avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. C'est aussi grâce à cette diversité géologique que les environnements de vie du vivant sont si riches. Cette conclusion – on pourrait dire évidente – suppose que soient prises en compte « l'insularité » de certains milieux géologiques, et la biodiversité endémique potentielle ou avérée qui les accompagne, dans les inventaires actuels du patrimoine naturel.

Geobiodiversity: the influence of geology on biodiversity

This article investigates the relationships between biodiversity and the lithology of the subsurface. Where land use obscures so much, geology is the element of landscape that is hardest to grasp. Yet it is an essential determinant of the character of natural habitats and how man has come to use them. The chemical and physical diversity of rock directly influences the distribution of life forms. From the earliest stages of colonization by plant life to the development of soils and man's continuing use thereof, subsurface lithology is a significant parameter to be considered in understanding biodiversity and in implementing measures to protect it. Biodiversity is often construed as restricted to the variety of animals and plants actually visible in a given habitat. Less thought is naturally given to the biota that develops in soils and accounts for an overwhelming share of biodiversity. The recognition of this wealth presupposes that consideration be given, in today's inventories of our natural heritage, to the "insularity" of certain geological contexts and to the potential or actual endemic biodiversity associated with them.

Références : **Blandin P. (2010)** – Biodiversité : l'avenir du vivant. Éditions Albin Michel. **Bournérias M. et Bock C. (2006)** – Le génie végétal. Éditions Belin. **English Nature (2004)** – Linking Geology and Biodiversity, Report n° 562. **Gray J.-M. (2004)** – Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. Wiley, Chichester. **Nahon D. (2008)** – L'épuisement de la Terre. L'enjeu du XXIe siècle. Éditions Odile Jacob. **Wever (de) P., Le Nechet Y., Cornee A. (2006)** - Vademecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. Mémoire hors-série de la Société géologique de France, n° 12, 161 p.