CHAPITRE 18

GÉOCONSERVATION DANS LES AIRES PROTÉGÉES

Auteurs principaux :

Roger Crofts et John E. Gordon

Collaborateur :

Vincent L. Santucci

TABLE DES MATIÈRES

- Introduction
- Le besoin de géoconservation dans les aires protégées
- Gestion de la géoconservation dans les aires protégées
- Conclusion
- Références

Convention sur la
diversité biologique

AUTEURS PRINCIPAUX

ROGER CROFTS est membre émérite de la Commission mondiale des aires protégées (CMAP) de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Il a été directeur général fondateur du Scottish Natural Heritage (1992-2002), vice-président régional de la CMAP pour l'Europe (2000-2008) et président de la Royal Scottish Geographical Society.

JOHN E. GORDON est vice-président du Groupe de spécialistes du patrimoine géologique de la CMAP et professeur honoraire à l'École de géographie et de géosciences de l'Université de St. Andrews, Écosse, Royaume-Uni.

COLLABORATEUR

VINCENT SANTUCCI est géologue et paléontologue principal du Service des parcs nationaux des États-Unis.

REMERCIEMENTS

Nous sommes reconnaissants pour les commentaires utiles fournis sur l'avant-projet de ce texte à : Jay Anderson, Australie ; Tim Badman, UICN, Suisse ; José Brilha, Université du Minho, Portugal ; Margaret Brocx, Geological Society of Australia, Australie ; Enrique Díaz-Martínez, Patrimonio Geológico y Minero (IGME), Espagne ; Neil Ellis, Joint Nature Conservation Committee (JNCC), Royaume-Uni ; Lars Erikstad, Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Norvège ; Murray Gray, Université Queen Mary de Londres, Royaume-Uni ; Bernie Joyce, Université de Melbourne, Australie ; Ashish Kothari, Kalpavriksh, Inde ; Jonathan Larwood, Natural England, Royaume-Uni ; Estelle Levin, Estelle Levin Ltd., Royaume-Uni ; Sven Lundqvist, Geological Survey of Sweden, Suède ; Colin MacFadyen, Scottish Natural Heritage, Royaume-Uni ; Colin Prosser, Natural England, Royaume-Uni ; Chris Sharples, Université de Tasmanie, Australie ; Kyung Sik Woo, Université nationale de Kangwon, Corée et Graeme Worboys, Université nationale australienne, Australie.

CITATION

Crofts, R. et Gordon, J. E. Geoconservation in protected areas. In Worboys, G. L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éd.) *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press, 2020. doi.org/10.22459/GGAP.18

PHOTO DE LA PAGE DE TITRE

Geyser et zone géothermique du Old Faithful, l'un des sites exceptionnels du patrimoine géologique mondial du parc national et site du Patrimoine mondial du Yellowstone, États-Unis

Source : Graeme L. Worboys

Introduction

La Terre est une planète dynamique présentant une diversité géologique remarquable. Les masses continentales et océaniques à la surface terrestre ont connu des changements continus pendant une grande partie des temps géologiques. Les océans se sont ouverts et fermés, et les continents se sont fragmentés et sont entrés en collision, provoquant une activité ignée plutonique, un volcanisme et une déformation crustale à grande échelle. Les processus abiotiques de la Terre se sont produits à la fois continuellement et épisodiquement, sur des échelles de temps très différentes allant de centaines de millions d'années à quelques minutes, et sur des échelles spatiales allant de plaques continentales entières jusqu'à l'échelle microscopique. Des chaînes de montagnes se sont formées et ont été érodées, et les débris rocheux ont formé des dépôts et ont été recyclés. Au fur et à mesure que les continents ont changé et migré sur toute la surface du globe et à travers différentes zones climatiques, des roches se sont formées dans de nombreux environnements différents. L'histoire de la vie sur Terre est conservée dans les archives fossiles contenues dans ces roches. Les changements climatiques mondiaux à long terme ont influencé les processus de surface, conduisant à des périodes glaciaires ou, à l'inverse, plus chaudes. Tous ces processus et événements ont laissé un héritage dans les registres rocheux, et ont créé la diversité des paysages et des reliefs que nous observons aujourd'hui dans le monde entier. Notre patrimoine géologique reflète l'histoire de la Terre : l'histoire de temps préservés dans ses roches, ses reliefs, ses fossiles, ses minéraux et ses sols, fournissant un solide argument pour la géoconservation.

La diversité géologique de la Terre contribue fondamentalement à la plupart des services écosystémiques reconnus dans l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005). Elle constitue le substrat sur lequel les plantes, les animaux et les humains peuvent se développer, et un lien vital entre les personnes, la nature, les paysages et le patrimoine culturel. Elle contribue au développement durable et profite à la santé publique en fournissant des actifs pour les loisirs et la jouissance du monde naturel. La connaissance et la compréhension du fonctionnement de la Terre sont également essentielles pour guider la gestion des terres, des cours d'eau et des côtes, à une époque de grande incertitude quant aux effets des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer. Il est donc essentiel que la diversité et le patrimoine géologiques soient pleinement intégrés à la gestion des aires protégées, et qu'un degré d'importance équivalent à celui de la biodiversité leur soit accordé dans le cadre d'une approche écosystémique reconnaissant la valeur et l'intégrité des processus abiotiques et biotiques dans la conservation de la nature.

Siccar Point, un site d'intérêt scientifique particulier en Écosse, Royaume-Uni, qui conserve le site historique où James Hutton, le fondateur de la géologie moderne, a observé un énorme écart de temps dans les roches (une discordance)

Source : Lorne Gill/Scottish Natural Heritage

Ce raisonnement a été reconnu par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) par l'adoption des Résolutions 4.040 à Barcelone (UICN, 2008) et 5.048 à Jeju, en Corée (UICN, 2012), qui stipulent, toutes deux clairement, que la diversité géologique fait partie de la nature et que le patrimoine géologique fait partie du patrimoine naturel.

Un certain nombre de définitions importantes ont été développées au cours des dernières années, à mesure que la pratique de la géoconservation a évolué. Les définitions suivantes reflètent les éléments clés. Pour une définition en espagnol de tous les termes clés, voir Carcavilla et al. (2012).

Diversité géologique

La diversité géologique est « l'éventail naturel (diversité) des caractéristiques géologiques (roches, minéraux, fossiles), géomorphologiques (reliefs, topographie, processus physiques), pédologiques (des sols) et hydrologiques. Elle comprend leurs assemblages, leurs structures, leurs systèmes et leurs contributions aux paysages » (Gray, 2013:12).

L'estuaire du Tay en Ecosse, Royaume-Uni, un site d'intérêt scientifique spécial et un site Ramsar. Le fleuve fournit des sédiments qui maintiennent les roselières qui, à leur tour, sont d'une grande importance pour la biodiversité et illustrent les liens entre la diversité géologique et la biodiversité

Source : Roger Crofts

« La diversité géologique est la variété des roches, des minéraux, des fossiles, des reliefs, des sédiments et des sols, ainsi que des processus naturels qui les forment et les modifient » (Dudley, 2008:66).

Le terme « diversité géologique » est relativement récent. Il fut utilisé pour la première fois, en anglais, en Tasmanie, Australie (Sharples, 1993 ; Gray, 2008). Malgré une certaine résistance initiale et des préoccupations quant à la validité des parallèles implicites avec la diversité biologique, le terme est aujourd'hui largement accepté (Gray, 2013). La diversité géologique est l'équivalent abiotique de la biodiversité et constitue donc un complément naturel à celle-ci, plutôt qu'un sujet distinct et non associé. Elle englobe les processus terrestres passés et présents, les caractéristiques statiques de toutes les époques reflétant la variété des processus au cours de l'histoire de la Terre, et inclut les processus modernes influençant la biodiversité de manière significative. La relation entre la diversité géologique et le patrimoine géologique est discutée par Durán et al. (1998), Nieto (2001) et Carcavilla et al. (2008).

Patrimoine géologique

Le patrimoine géologique regroupe les éléments de la diversité géologique de la Terre considérés comme ayant une valeur scientifique, éducative, culturelle ou esthétique significative (Díaz-Martínez, 2011 ; GSA, 2012). Ces éléments comprennent des lieux et des objets spéciaux (spécimens *in situ* et dans des musées), jouant un rôle clé

Site du Patrimoine mondial de Kvarken, à l'ouest de la Finlande, où de nouvelles terres émergent de la mer à conséquence du rebond (soulèvement glacio-isostatique) faisant suite à la fonte de la calotte glaciaire scandinave, dont le poids avait enfoncé la surface terrestre

Source : UNESCO

dans notre compréhension de l'évolution abiotique et biotique de la Terre (ProGEO, 2011). Un site ou une zone d'importance pour son patrimoine géologique élevé peut abriter une seule caractéristique de valeur, et n'a pas besoin de présenter une diversité de caractéristiques.

Géoconservation

La géoconservation a été définie comme « la conservation de la diversité géologique pour ses valeurs intrinsèques, écologiques et (géo)patrimoniales » (Sharples, 2002:6).

Une définition plus générale pourrait être : « les mesures prises dans le but de conserver et d'améliorer les caractéristiques et processus géologiques, géomorphologiques et pédologiques, les sites et les spécimens, y compris les activités de promotion et de sensibilisation associées, et la prise en compte et le sauvetage de données ou de spécimens provenant de caractéristiques et de sites menacés de perte ou de dommage » (Prosser, 2013:568).

Dans certaines traditions, la géologie et la géomorphologie sont considérées comme des disciplines distinctes mais liées. Dans d'autres, la géomorphologie fait partie de la géologie. Quelle que soit l'approche suivie, il est important de souligner que la géologie et la géomorphologie sont explicitement incluses dans la diversité géologique, le patrimoine géologique et la géoconservation, tels que définis ci-dessus, et que le terme « géosites » peut englober à la fois des caractéristiques géologiques et géomorphologiques.

Parfois, les termes « diversité géologique », « patrimoine géologique » et « géoconservation » sont utilisés pour inclure à la fois les intérêts géologiques et géomorphologiques. Ainsi, pour éviter toute confusion, nous recommandons fortement l'utilisation des termes « diversité géologique », « patrimoine géologique » et « géoconservation » tels que définis ci-dessus, c'est à dire, englobant à la fois les caractéristiques géologiques et géomorphologiques.

Ce chapitre fournit aux gestionnaires et au personnel des aires protégées des informations pratiques et des conseils généraux sur le rôle de la géoconservation dans les aires protégées. L'accent est mis, à la fois, sur l'importance de protéger le patrimoine géologique en tant que tel, et sur l'importance de comprendre l'influence formatrice de la diversité géologique sur la flore et la faune à l'échelle d'un site, d'un habitat, d'un paysage, d'un écosystème et d'un biome.

Ce chapitre se compose de deux sections. La première exposera les arguments en faveur de la géoconservation dans les aires protégées, et la deuxième fournira des conseils sur les principes directeurs de l'évaluation et de la conservation des sites. Des directives plus détaillées sont en cours de préparation sous la forme de « Lignes directrices sur les meilleures pratiques en matière de conservation et de gestion des sites du patrimoine géologique » par la Commission mondiale des aires protégées (CMAP) de l'UICN.

Le besoin de géoconservation dans les aires protégées

Valeurs du patrimoine géologique

De nombreux gestionnaires et employés d'aires protégées, ainsi que leurs conseillers, connaissent l'importance fondamentale de la conservation de la biodiversité. Ce sujet étant à la base de la Convention sur la diversité biologique (CDB) de 1992 et comportant un programme de travail connexe sur les aires protégées, la conservation de la biodiversité est considérée par beaucoup comme la *raison d'être* des aires protégées et de leur gestion. Cependant, les roches, sédiments et sols sous-jacents, leur évolution et les processus terrestres récents et actuels auxquels ils sont soumis, sont également vitaux. Pourquoi ?

Gray (2004) a résumé les valeurs clés de la conservation comme : intrinsèque, culturelle, esthétique, économique, fonctionnelle, et de recherche et éducation. En général, l'accent a été mis sur la valeur du patrimoine géologique pour la recherche scientifique et l'éducation, mais nous disposons

aujourd'hui d'une plus grande conscience de l'importance plus générale de la géoconservation, en particulier dans le contexte des écosystèmes (Gray, 2013).

De nombreuses aires protégées sont établies en raison de leurs valeurs pour le patrimoine géologique, y compris l'un des premiers parcs nationaux au monde : le Yellowstone, aux États Unis. Certaines sont des sites d'importance mondiale ou régionale pour des étapes critiques de l'histoire de la Terre et pour les horizons inscrits dans les roches, représentant les limites entre les différentes périodes géologiques. D'autres sont des exemples de processus géologiques passés, représentant des événements majeurs dans l'évolution des continents et des océans, tels que la collision entre les plaques tectoniques indiennes et eurasiennes à l'origine de la création de l'Himalaya et du plateau tibétain. D'autres encore sont établies pour leur importance de recherche, tels que les séquences de roches inversées résultant de collisions de

Art rupestre dans le parc national Royal Natal, KwaZulu-Natal, Afrique du Sud, illustrant des associations culturelles avec des grottes naturelles

Source : Roger Crofts

plaques tectoniques et la poussée de strates plus anciennes au-dessus de strates plus jeunes, visibles, par exemple, autour de Moine Thrust, en Écosse. Beaucoup sont importantes parce que les fossiles qu'elles renferment représentent des étapes clés dans l'évolution de la vie sur Terre, comme le schiste de Burgess dans les parcs nationaux de Yoho et de Kootenay, en Colombie-Britannique, Canada.

D'autres sont significatives pour le type de minéraux qu'on y trouve, reflétant une évolution géochimique complexe. Enfin, certaines sont importantes pour leurs processus géologiques actuels, tels que la séparation des plaques tectoniques en Islande, ou le développement des reliefs glaciaires sur la péninsule antarctique.

En outre, de nombreuses aires protégées sont établies parce que leurs caractéristiques géologiques et géomorphologiques

sont visuellement et scéniquement dominantes dans le paysage, et ont souvent une signification emblématique dans l'histoire culturelle de la région et de la nation. Les montagnes dorées de l'Altaï, en Fédération de Russie, les montagnes de Bogd Khan, en Mongolie, ou le parc national de Triglav, en Slovénie, en sont quelques exemples. De nombreuses composantes de la diversité géologique possèdent également une signification culturelle directe, telles que les grottes préservant des peintures ou des inscriptions, ou autres valeurs sacrées de périodes passées de l'occupation humaine.

Le patrimoine géologique dans les aires protégées peut exister à plusieurs échelles, de petits éléments individuels, tels que des pierres sculptées par le vent (ventifacts) dans les environnements désertiques ou des roches (erratiques) transportées sur de longues distances par les glaciers,

jusqu'à des chaînes de montagnes entières et de grands bassins fluviaux. Toutes les échelles sont importantes, et la géoconservation doit tenir compte des caractéristiques et des processus dans tout le continuum, de l'échelle du site à celle du paysage. Cependant, les sites n'ont pas besoin de présenter une diversité géologique élevée pour être admissibles au statut d'aire protégée. Par exemple, une séquence épaisse de calcaires d'eau profonde peut représenter une partie importante de l'histoire d'un bassin, et montrer l'évolution de la vie. Une faible diversité géologique apparente dans les roches peut cacher une riche biodiversité, pas si évidente à l'œil nu, mais cruciale en tant que section type ou localité de référence pour une phase ou un changement évolutif particulier.

Tableau 18.1 Principales menaces anthropiques pour le patrimoine géologique dans les aires protégées

Menaces et pressions	Exemples d'impacts sur le patrimoine géologique dans les aires protégées
Urbanisation, construction (y compris les développements commerciaux et industriels à l'intérieur des terres et sur les côtes), infrastructures, parcs éoliens terrestres et activités connexes.	Destruction des reliefs et exposition des sédiments et des roches. Fragmentation de l'intégrité du site et perte des relations entre les éléments. Perturbation des processus géomorphologiques. Modification des régimes des sols et de l'eau, destruction des sols et de leur structure.
Extraction minière et minérale (y compris l'extraction à partir de mines à ciel ouvert, de puits, de carrières, dans les dunes et les plages, dans le lit des rivières, l'extraction de granulats marins et l'exploitation minière en haute mer).	Destruction des reliefs et exposition des sédiments et des roches. Fragmentation de l'intégrité du site et perte des relations entre les éléments. Perturbation des processus géomorphologiques. Destruction des sols et de leur structure. Modification des régimes des sols et de l'eau.
Changements dans l'utilisation et la gestion des terres (y compris l'agriculture, la foresterie).	Dommages causés par les labours, le nivellement des sols et le drainage. Perte de visibilité des reliefs et des affleurements et accès aux expositions. Stabilisation des reliefs dynamiques (par exemple, dunes de sable). Érosion des sols. Changements dans la chimie et les régimes d'eau du sol. Compactage du sol, perte de matière organique.
Protection des côtes, et gestion et ingénierie fluviales (y compris les barrages et les prélèvements d'eau).	Dommages aux reliefs et aux expositions de sédiments et de roches. Perte d'accès aux expositions. Perturbation des processus géomorphologiques. Inhibition de l'érosion entraînant la dégradation des expositions.
Activités en mer (dragage, chalutage, développement d'énergies renouvelables, exploitation d'hydrocarbures et élimination des déchets).	Dommages physiques aux reliefs et aux sédiments. Perturbation des processus géomorphologiques. Affouillement/pénétration des fonds et du sous-sol marins.
Loisirs et géo-tourisme.	Dommages physiques aux reliefs, aux affleurements rocheux, aux processus et aux sols (compactage) par la pression des visiteurs. Fragmentation de l'intégrité du site. Érosion des sentiers et autres érosions localisées du sol et perte de matière organique du sol.
Changement climatique.	Changements dans les processus du système actif. Changements dans l'état du système (réactivation ou stabilisation). Perte de caractéristiques clés, telles que les calottes glaciaires et les glaciers, les lacs glaciaires et les débits hydriques.

Élévation du niveau de la mer (causes anthropiques).	Perte de visibilité et d'accès aux expositions et affleurements côtiers du fait de leur submersion. Perte d'expositions du fait d'une érosion accrue. Modification des expositions et des reliefs côtiers. Perte de la totalité ou d'une partie substantielle des aires protégées. Apparition de nouveaux éléments à partir, par exemple, des ondes de tempête.
Restauration des puits et des carrières (y compris les décharges).	Perte d'expositions et de relief naturel.
Stabilisation des parois rocheuses (par exemple, remblais de route) avec des filets ou du béton.	Perte d'expositions.
Collecte irresponsable de fossiles et de minéraux, et carottage.	Dommages physiques aux expositions des roches et perte de données fossiles.

Sources : Adapté de Gordon et Barron (2011) ; Brooks (2013) ; Gris (2013)

Menaces pesant sur le patrimoine géologique

On fait souvent valoir que le patrimoine géologique n'a pas besoin d'être conservé dans les aires protégées, parce qu'il est immuable et qu'aucune menace évidente provenant des activités humaines ne peut nuire à l'état ou à la valeur de ses éléments d'intérêt. Il s'agit là d'une affirmation incorrecte, et de nombreux conflits de conservation ont trait à des menaces à la diversité géologique, comme par exemple, le différend sur le développement hydroélectrique du lac Pedder, en Tasmanie (Houshold et Sharples, 2008). En fait, les pressions et menaces auxquelles le patrimoine géologique est confronté sont nombreuses et variées (tableau 18.1), et peuvent découler des moteurs économiques du développement ou de changements dans les politiques agricoles et forestières influençant les décisions relatives à

l'aménagement du territoire. Ces caractéristiques et formes statiques et apparemment robustes peuvent facilement être endommagées ou détruites par des développements urbains, industriels, commerciaux et d'infrastructures, des industries extractives, des protections côtières, des changements dans l'utilisation des terres, des activités scientifiques négligentes, des collecteurs de roches, de minéraux et de fossiles, ou la pression des visiteurs. Des dommages importants et des pertes de sites clés ont eu lieu, par le passé, et se poursuivent encore aujourd'hui (Gray, 2013). De nombreux éléments sont reliques ou inactifs, et donc non renouvelables, et une fois endommagés ou détruits, ils ne peuvent pas être remplacés. D'autres caractéristiques sont très dynamiques, et le maintien de l'intérêt et de la contribution qu'elles apportent à la conservation dans son ensemble est vital, comme dans le cas de l'approvisionnement en sédiments permettant de maintenir les vasières et marais salants pour

Site d'intérêt scientifique spécial des méandres de la rivière Clyde, Écosse, Royaume-Uni. Permettre aux rivières de suivre leur cours naturel conserve les processus des plaines inondables et aide à atténuer les impacts des inondations en aval

Source : Patricia et Angus Macdonald/Scottish Natural Heritage

Parc national de Vadehavet, Jutland, Danemark. L'accès des véhicules aux dunes de sable peut entraîner une instabilité et une perte d'intérêt du patrimoine géologique

Source : Roger Crofts

Aberdeen, Écosse, Royaume-Uni : exemples d'épis et de digues en béton interrompant les processus naturels et causant des problèmes de dégradation

Source : Roger Crofts

les populations d'oiseaux hivernants. On ne saurait trop insister sur le besoin d'aires protégées pour le patrimoine géologique, ainsi que sur leur gestion efficace, face à ces menaces d'origine humaine.

Les éléments d'intérêt du patrimoine géologique dans les aires protégées se manifestent généralement par des expositions naturelles et anthropiques, des reliefs et des systèmes de processus géomorphologiques actifs. Certains sont donc créés et entretenus par des processus naturels, alors que d'autres le seront par des activités humaines telles que l'exploitation de carrières. Prosser et al. (2006) envisagent les menaces potentielles pour différents types d'aires protégées. Les principaux impacts sont les dommages physiques, la destruction ou la suppression de l'intérêt, la perte de visibilité ou d'accès aux expositions par enfouissement ou dissimulation par la végétation, les dommages à l'intégrité du site par la fragmentation de l'intérêt et la perte de relations entre les caractéristiques, et la perturbation des processus ou des conditions naturels. Par exemple, des expositions situées dans des carrières désaffectées peuvent être perdues par une mise en décharge, les principaux reliefs glaciaires peuvent être détruits par l'extraction de sable et de gravier, et des expositions clés peuvent être perdues et les processus naturels perturbés par des mesures de protection des côtes et des berges, et des défenses contre les inondations. L'extraction minérale peut avoir des impacts positifs ou négatifs. Les carrières et gravières constituent une ressource géologique

importante, en particulier dans les zones où les expositions naturelles sont faibles ou rares. L'exploitation de carrières peut révéler de nouvelles sections de valeur, et de nombreux sites importants se trouvent dans d'anciennes carrières où l'intérêt géologique n'aurait, autrement, pas été exposé. Les carrières peuvent aussi constituer une menace directe pour des reliefs particuliers. Par exemple, l'extraction de calcaire peut détruire des parties de systèmes de grottes et de lapiaz. Bien que toute nouvelle exploitation de carrière dans les aires protégées soit, à priori, improbable, afin de ne pas endommager les reliefs intacts, dans d'autres cas, la valeur potentielle de nouvelles sections, par exemple, révélant l'architecture sédimentaire tridimensionnelle d'un système d'esker, pourrait devoir être soupesée, face à une perte supplémentaire de l'intégrité des reliefs. Dans de tels cas, une décision attentive devra être prise pour s'assurer que les raisons de l'exposition soient entièrement compatibles avec les objectifs de conservation particuliers des caractéristiques concernées. Diverses activités agricoles peuvent avoir un impact sur les sites géologiques et les reliefs. Ces derniers peuvent être endommagés par un labourage profond ou le nivellement des terres, dissimulés sous un boisement commercial ou endommagés par les routes d'extraction.

Les plantes thermophiles illustrent une dépendance biotique au cocktail chimique chaud de la vallée volcanique de Waimangu, Rotorua, Nouvelle-Zélande

Source : Roger Crofts

Les sols sont soumis à la pression de la contamination, de pratiques d'utilisation, de l'intensification de l'agriculture, du boisement, de l'élimination des déchets, des dépôts acides et de l'expansion urbaine.

Les approches conventionnelles de protection des côtes et des cours d'eau contre l'érosion et les inondations impliquent généralement une ingénierie « dure », à grande échelle, qui isole des expositions clés derrière des digues en béton, des murs de roches ou des gabions. Les processus naturels d'approvisionnement et de déplacement des sédiments sont perturbés, déplaçant généralement le problème ailleurs. Par conséquent, des impacts hors site plus importants peuvent également se produire, par exemple, une érosion en aval des défenses côtières. D'autres menaces peuvent découler des effets des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer, et en particulier des réponses humaines à ces phénomènes (par exemple, sous forme de protection « dure » contre les inondations et de défenses côtières), notamment dans le cas des systèmes dynamiques. Ceux-ci présentent des défis de gestion particuliers, qui exigeront une collaboration entre les gouvernements, les planificateurs, les décideurs et les communautés locales, afin d'assurer une gestion durable de la diversité géologique dans le cadre de stratégies d'adaptation plus générales et à long terme, et permettre la protection des services écosystémiques (Prosser et al., 2010).

Les pressions et menaces sur le milieu marin incluent la pêche de fond, l'extraction de granulats, les installations pétrolières et gazières, les installations d'énergie renouvelable, les câbles et pipelines, le dragage de navigation, l'élimination des déchets et les activités militaires. Elles peuvent avoir un impact sur les caractéristiques géomorphologiques et géologiques des fonds marins (DEFRA, 2010 ; Brooks, 2013). Compte tenu de la nature dynamique du milieu marin, toutes ces activités sont susceptibles d'avoir des impacts plus importants par l'interruption des voies de transport de sédiments existantes et la modification des schémas de sédimentation et des processus hydrodynamiques.

Les changements climatiques ont récemment été reconnus comme un problème émergent pour la géoconservation (Prosser et al., 2010 ; Sharples, 2011). En particulier, il est probable que les systèmes géomorphologiques, hydrologiques et pédologiques actifs subissent des transformations majeures en réponse aux changements climatiques, y compris l'érosion ou l'enfouissement potentiels de certains éléments plus anciens du patrimoine géologique. Bien qu'il soit possible d'empêcher la perte de certains sites spécifiques du patrimoine géologique, à l'échelle plus générale des paysages, il est peu probable qu'il soit possible d'empêcher des changements de processus généralisés. L'ampleur des interventions requises pour cela compromettrait, par ailleurs, de nombreuses autres valeurs

naturelles. L'action la plus appropriée (et la plus rentable) à l'échelle des paysages pourrait être de permettre aux processus abiotiques actifs de s'adapter naturellement aux conditions climatiques changeantes.

Liens avec la biodiversité, les fonctions et les services écosystémiques

La géoconservation dans les aires protégées apporte de nombreuses contributions importantes à la nature biotique et à la société. Elle soutient la conservation des paysages et de la biodiversité, le développement économique, l'adaptation aux changements climatiques, la gestion durable des terres, de l'eau, et du patrimoine historique et culturel, ainsi que la santé et le bien-être des populations (par exemple, Johansson, 2000 ; Brilha, 2002 ; Stace et Larwood, 2006 ; Gordon et al., 2012 ; Gray et al., 2013). Plus important encore, la diversité géologique sous-tend ou fournit la plupart des services écosystémiques identifiés dans l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005). Elle constitue un élément clé des services de soutien, et contribue grandement aux services d'approvisionnement et de régulation, ainsi qu'aux services culturels (figure 18.1). Sans la contribution de la diversité géologique, de nombreux services écosystémiques essentiels à la vie sur Terre n'existeraient tout simplement pas, ou nécessiteraient des solutions technologiques beaucoup plus coûteuses, comme par exemple, l'approvisionnement en eau douce, la régulation de la qualité de l'eau et de l'air, la formation des sols ou le cycle des nutriments pour la production alimentaire. La diversité géologique fournit également des biens et des services supplémentaires indispensables (par exemple, minéraux, agrégats et combustibles fossiles), qui constituent autant d'actifs non renouvelables, ainsi que des avantages substantiels en termes de « connaissances » (par exemple, les registres des changements climatiques passés, la compréhension du fonctionnement des systèmes planétaires et les tendances des services écosystémiques).

Dans sa forme la plus simple, la diversité géologique constitue le fondement de la vie et de la diversité des espèces, des habitats, des écosystèmes et des paysages de la Terre. La plupart des espèces dépendent du « substrat » abiotique sur lequel elles existent (Anderson et Ferree, 2010), et pas seulement les espèces rares ou spécialisées, comme par exemple, celles associées aux sols calcaires ou métallogènes. Ainsi, il existe un lien étroit entre la flore et la faune, le sol et les roches sous-jacentes, et la topographie, l'eau et autres éléments nutritifs dont elles dépendent pour leur croissance et leur survie (par exemple, Semeniuk et al., 2011). À l'heure où nous nous concentrons beaucoup plus sur la santé écologique continue des écosystèmes et de leur

composantes, il est essentiel de comprendre les liens entre les processus abiotiques naturels de la Terre et la contribution qu'ils apportent à la conservation de la biodiversité.

La nature et les variations des écosystèmes forestiers sont déterminées aussi bien par les types de substrats rocheux et de sols, l'exposition climatique et la topographie des reliefs, qui déterminent les variations locales de disponibilité en eau et les flux de nutriments, que par la diversité de leur flore et de leur faune. Les aires protégées côtières reflètent l'interaction des types de substratum rocheux et de sédiments avec les processus fluviaux et marins dans leur évolution et leur état actuel, même quand leur raison première était sans doute la protection des oiseaux migrateurs ou de la flore littorale. Les aires protégées de latitudes ou altitudes élevées, importantes pour la mégafaune et la flore arctiques ou alpines, sont caractérisées par un gel et un dégel des sols, et des apports saisonniers en nutriments. La liste des relations entre les principaux biomes et leurs processus terrestres passés et actuels est sans fin et, par conséquent, fondamentale pour l'identification, la désignation et la gestion de nombreuses aires protégées. En termes simples, sans une compréhension

des processus terrestres ayant conduit à leur formation et de ceux qu'ils subissent actuellement, la gestion des aspects biologiques des aires protégées ne sera pas aussi efficace qu'elle devrait l'être (Santucci, 2005). Ceci est souligné par l'intérêt actuel pour une approche de « conservation scénique », dans laquelle la flore et la faune sont considérées comme des acteurs et la diversité géologique, comme la scène sur laquelle ils se produisent. Dans cette optique, la conservation scénique est considérée comme la meilleure façon de conserver la biodiversité, en particulier dans un contexte de changements climatiques, où l'existence d'une gamme d'habitats dans lesquels les plantes et animaux pourront se déplacer pourrait être cruciale pour leur survie (Anderson et Ferree, 2010).

La protection des sites révélant des registres paléo-environnementaux est essentielle. L'analyse des changements dans les fossiles, le pollen et les spores fongiques, par exemple, ainsi que des facteurs de changement affectant la biodiversité (par exemple, les changements climatiques, le volcanisme, l'érosion et la sédimentation) dans les aires protégées, peut permettre de mieux comprendre la

Figure 18.1 Illustration schématique des biens et services dérivés de la diversité géologique : la couche grise au-dessus du substratum rocheux représente le sol

Source : Réimprimé de Gray et al. (2013), reproduit avec la permission d'Elsevier

San Cristóbal, parc national des Galápagos, Équateur, où les rebords érodés entre les couches de lave offrent des perchoirs parfaits pour le héron bihoreau violacé (*Nyticorax violaceus*)

Source : Roger Crofts

dynamique de la biodiversité. Bien qu'il soit peu probable que le passé fournisse des analogies exactes pour l'écologie de la restauration, les registres paléo-environnementaux ont un rôle important à jouer dans la biologie de la conservation, en permettant de comprendre les processus écologiques et évolutifs, la dynamique des écosystèmes et les registres passés de variabilité naturelle (Gillson et Marchant, 2014). En outre, les perspectives à long terme fournies par les registres paléo-environnementaux pourraient améliorer la sensibilisation aux tendances des services écosystémiques, et aider à valider les décisions de gestion en matière de conservation et à hiérarchiser les ressources limitées disponibles pour les interventions de gestion.

L'écologie de la restauration est un élément important dans la gestion des aires protégées, par exemple après une dégradation ou une perte de fonctionnalité. La contribution des processus abiotiques naturels devraient être dûment prise en compte dans l'élaboration de plans de restauration, afin d'augmenter le potentiel de réussite, et s'assurer que la diversité géologique ne sera pas affectée négativement.

Par conséquent, la géoconservation est cruciale pour la conservation des espèces vivantes et des habitats, afin de maintenir à la fois le contexte, ou « scène » abiotique, et les processus naturels (par exemple, inondations, érosion et dépôts) nécessaires à la diversité des habitats et aux fonctions écologiques. Il existe de solides arguments en faveur d'approches plus intégrées de la gestion des aires protégées qui profiteraient à la fois à la biodiversité et à la

Site du Patrimoine mondial d'Alvar Öland, Suède, où la flore dépendante du calcaire pousse sur un substrat calcaire

Source : Roger Crofts

géoconservation (Hopkins et al., 2007 ; IUCN, 2012 ; Matthews, 2014).

Pertinence de la définition de l'IUCN pour la géoconservation dans les aires protégées

La définition révisée de l'IUCN d'une aire protégée fait, pour la première fois, référence à la nature abiotique en remplaçant le terme étroit de « biodiversité » par celui, plus générique, de « nature » : « un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par des moyens juridiques et autres moyens efficaces, pour parvenir à la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et valeurs culturelles associés ».

L'utilisation du mot « nature » est tout à fait délibérée pour un certain nombre de raisons. Elle permet une reconnaissance spécifique des éléments abiotiques dans les aires protégées, qui étaient exclus de la définition précédente se référant uniquement à la biodiversité, elle reconnaît que de nombreuses aires protégées existent pour conserver la nature abiotique sous une forme ou une autre, et elle reconnaît également que la nature abiotique est importante en soi, car elle constitue un élément intrinsèque de toute définition de la nature.

Dans l'élaboration des lignes directrices, la « nature » est définie comme faisant toujours référence à la « biodiversité, au niveau génétique, des espèces et des écosystèmes, et

Encadré 18.1 Catégories de sites de l'Évaluation de la conservation géologique en Grande-Bretagne

1. Sites d'importance internationale : stratotypes d'intervalles ou de limites, localités types pour les biozones basées sur des fossiles et les périodes géologiques basées sur des strates rocheuses particulières, localités clés pour des types de roches, des minéraux ou des fossiles particuliers ou des formes de relief particuliers, sites historiquement importants où des découvertes majeures ont été faites, de nouvelles connaissances significatives ont été obtenues, ou des éléments ou phénomènes ont été découverts et décrits pour la première fois.
2. Sites scientifiquement importants parce qu'ils renferment des caractéristiques exceptionnelles, extrêmement rares dans leur formation ou leur existence.
3. Sites d'importance nationale parce qu'ils sont représentatifs d'une caractéristique, d'un événement ou d'un processus du patrimoine géologique fondamental pour l'histoire de la Terre en Grande-Bretagne.

souvent également à la diversité géologique, aux formes de relief et aux valeurs naturelles plus générales » (Dudley, 2008:tableau 1, p. 9).

L'utilisation du terme « nature » est également justifiée dans la Résolution 5.048 de l'UICN (UICN 2012:66), « afin que, lorsqu'il est fait référence à la nature en général dans le *Programme de l'UICN 2013-2016*, la préférence soit donnée à des termes inclusifs tels que « nature », « diversité naturelle » ou « patrimoine naturel », afin que la diversité géologique et le patrimoine géologique ne soient pas exclus ».

L'exemple mentionné dans les lignes directrices de 2008 est la réserve naturelle nationale de Rum, en Écosse, créée pour protéger des caractéristiques géologiques uniques, en particulier la séparation et la stratification des roches de chambre magmatique pendant l'activité ignée du Paléogène. Le site présente également une importance régionale européenne pour les espèces d'oiseaux qu'il accueille.

Une approche systématique pour identifier les intérêts de géoconservation

Un cadre méthodologique clair, logique et objectif est essentiel pour l'identification des caractéristiques et des sites présentant un intérêt pour le patrimoine géologique (Sharples, 2002 ; ProGEO, 2011). Cela s'applique à tous les niveaux, des évaluations internationales aux inventaires

Parc national du Cotopaxi, Équateur, où la chronologie de l'activité volcanique peut être reconstruite à partir de couches successives de cendres volcaniques (tephra)

Source : Roger Crofts

locaux. Sans une telle approche, il n'y aura aucun moyen de juger si tous les aspects du patrimoine géologique sont inclus, dans quelle mesure les sites sélectionnés sont représentatifs, rares ou uniques, et comment le réseau peut être étendu à mesure que les connaissances s'améliorent et que l'intérêt pour le patrimoine géologique est mieux reconnu.

Dans le texte qui suit, nous donnons des exemples de méthodologies pouvant être appliquées à diverses échelles, des évaluations internationales aux inventaires locaux des intérêts géo-patrimoniaux, pouvant être élaborées et appliquées par les gestionnaires d'aires protégées individuelles.

Il est conseillé aux nations et organisations désireuses de se lancer dans le développement d'aires protégées pour le patrimoine géologique d'envisager sérieusement d'utiliser les systèmes et classifications déjà existants, car ceux-ci portent une attention particulière à l'ensemble des questions. Il est clair que des modifications et des ajouts devraient être apportés en fonction des circonstances nationales, mais ceci devrait se faire dans le cadre d'un réseau international éprouvé.

L'Évaluation de la conservation géologique (Geological Conservation Review - GCR) en Grande-Bretagne (Angleterre, Écosse et Pays de Galles), élaborée et mise en œuvre au cours des trois dernières décennies, est une approche systématique pertinente, de façon générale, pour d'autres pays (Ellis, 2011). Trois catégories distinctes, mais

Tableau 18.2 Éléments clés d'un réseau d'aires protégées pour le patrimoine géologique

Éléments clés	Géosites montrant :
Étapes clés de l'histoire de la Terre	Stratotypes d'intervalle ou de limite, localités types pour les biozones basées sur des fossiles et localités types pour les périodes géologiques basées sur des strates rocheuses particulières.
Principales caractéristiques structurales	Événements tectoniques / épisodes associés aux mouvements des plaques. Les exemples incluent des caractéristiques associées à des collisions de plaques aboutissant, par exemple, à la formation de chaînes de montagnes, accompagnée de poussée, de pliage et de compression de strates. D'autres exemples associés à la convergence des plaques incluent la formation d'arcs insulaires, de volcans centraux et de vastes coulées de lave.
Formation de minéraux	Gisements minéraux rares et représentatifs et types d'emplacements minéraux.
Évolution de la vie	Fossiles et assemblages fossiles représentant des étapes de l'évolution de la vie, et gradations et interruptions dans les séquences de vie dans les registres fossiles reflétant des tendances évolutives et des événements catastrophiques, tels que les chutes de météorites et les éruptions de super-volcans.
Processus terrestres modernes	Caractéristiques représentatives des processus actifs, en particulier ceux associés aux plaques tectoniques, tels que différents types de volcans et autres formes éruptives, et ceux associés à l'interface terre-mer le long des côtes et des estuaires, des systèmes fluviaux et des environnements glaciaires et périglaciaires.
Caractéristiques représentatives de la surface et du sous-sol	Caractéristiques représentatives de périodes particulières de l'histoire de la Terre, ou formations rocheuses ou processus terrestres particuliers, ou inhabituels ou distinctifs, par exemple, systèmes de grottes, cheminées de fées, formations rocheuses en forme de dôme et autres formations rocheuses dressées.
Registres des conditions environnementales passées	Conditions environnementales passées, telles que les phases glaciaires, périglaciaires et interglaciaires de la période Quaternaire, y compris les reliefs, sédiments et séquences rocheuses de toutes les périodes de l'histoire de la Terre.

complémentaires, de sites sont intégrées dans ce système géo-scientifique (encadré 18.1).

Les sites ont été évalués selon sept grands groupes : stratigraphie, paléontologie, géologie quaternaire, géomorphologie, pétrologie ignée, géologie structurale et métamorphique, et minéralogie. Pour des raisons pratiques, ces groupes ont été, à leur tour, subdivisés en « blocs » thématiques selon l'âge stratigraphique, le type de formation, la zone géographique ou différents processus géologiques et géomorphologiques. De toute évidence, d'autres pays et régions pourraient choisir des groupements différents en fonction de leur géologie et géomorphologie spécifiques. De même, en fonction du but de l'inventaire, les critères peuvent, outre la valeur scientifique, inclure des valeurs esthétiques, culturelles, éducatives, historiques, économiques et écologiques, ainsi que le potentiel d'utilisation et la vulnérabilité (voir ci-dessous).

Sept éléments clés peuvent fournir la base d'un réseau complet d'aires protégées pour le patrimoine géologique pour n'importe quelle région ou pays (tableau 18.2).

Une gestion de la conservation par le biais de réseaux dédiés de sites protégés constitue l'une des nombreuses stratégies possibles pour assurer la protection du patrimoine géologique. Dans la mesure du possible, la géoconservation devrait être intégrée à la gestion de la conservation de toutes les catégories d'aires protégées. Pour ce faire, il est nécessaire d'établir des liens beaucoup plus explicites entre

la diversité géologique et la biodiversité dans la planification de la conservation et la sélection des aires protégées et, en ce qui concerne la biodiversité, d'optimiser les synergies avec les services écosystémiques dans la planification de la conservation.

Boîte à outils du patrimoine géologique pour les aires protégées

De nombreux systèmes d'évaluation des aires protégées sont en place aux niveaux international, national et local. À tous les niveaux, un inventaire géo-patrimonial et une compréhension complète des sites clés devant être protégés est une exigence fondamentale (Sharples, 2002 ; ProGEO, 2011). La Boîte à outils du patrimoine géologique, développée en Australie occidentale pour identifier et évaluer les aires protégées d'importance, du point de vue du patrimoine géologique, pour la science et l'éducation, illustre les principales étapes (figure 18.2) (Brocx et Semeniuk, 2011). Le Boîte à outils du patrimoine géologique est une méthodologie par catégorie dans laquelle des régions distinctes sont d'abord identifiées, puis un inventaire des principales caractéristiques géologiques et géomorphologiques est entrepris à toutes les échelles (de l'échelle des montagnes à l'échelle micro), les caractéristiques sont attribuées à une catégorie de patrimoine géologique, et leur importance est évaluée à l'aide de l'évaluation semi-quantitative de Brocx et Semeniuk (2007).

Figure 18.2 Étapes de l'utilisation de la Boîte à outils du patrimoine géologique pour identifier et évaluer les sites d'importance pour le patrimoine géologique

Source : Brocx et Semeniuk (2011). Illustration reproduite avec l'autorisation des auteurs et de la Royal Society of Western Australia.

Géoconservation et établissement d'aires protégées

Il existe de nombreux types de réseaux d'aires protégées du patrimoine géologique, certains internationaux, d'autres nationaux et d'autres encore locaux. Les principaux types sont décrits ici.

Échelle internationale

Patrimoine mondial

La Convention du patrimoine mondial reconnaît les valeurs du patrimoine géologique à la fois directement, par l'inscription de biens sur la liste du Patrimoine mondial de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) en vertu du Critère (viii), soit seul, soit en combinaison avec d'autres critères naturels ou culturels, et indirectement, en reconnaissant le rôle de soutien des valeurs du patrimoine géologique pour la diversité biologique, culturelle et paysagère (Dingwall et al., 2005). Pour être ajoutés à la liste du Patrimoine mondial, les sites doivent présenter une *valeur universelle exceptionnelle* et répondre à au moins un des 10 critères de sélection.

Sur les 981 sites inscrits en 2013 sur la liste du Patrimoine mondial, 759 étaient culturels, 193 naturels et 29 mixtes. Environ 80 sites étaient inscrits principalement en raison de leur intérêt géo-patrimonial au titre du critère (viii) comme « exemples exceptionnels représentant des étapes majeures de l'histoire de la Terre, y compris le registre de la vie, des processus géologiques importants dans le développement des reliefs, ou des caractéristiques géomorphologiques ou physiographiques importantes ». Certains sites peuvent également être admissibles en vertu du critère (vii) : « abriter des phénomènes naturels superlatifs ou des zones d'une beauté naturelle et d'une importance esthétique exceptionnelles ». Dingwall et al. (2005) ont proposé 13 thèmes géologiques et géomorphologiques comme base d'évaluation du potentiel d'un site candidat au Patrimoine mondial.

Géoparcs

Les géoparcs sont des sites au patrimoine géologique exceptionnel, établis principalement pour promouvoir le géo-tourisme et soutenir le développement économique local. Il ne s'agit pas d'aires protégées *en soi*, mais ils peuvent coïncider partiellement ou entièrement avec des aires

protégées. Ils ne sont pas systématiquement identifiés et classés comme un réseau mondial complet. Beaucoup sont basés sur des initiatives communautaires et volontaires, et d'autres sur une désignation descendante. Néanmoins, le Réseau mondial des géoparcs nationaux, ou Réseau mondial des géoparcs (GGN), soutenu par l'UNESCO (figure 18.3), fournit un cadre international pour conserver et valoriser le patrimoine de la Terre, ses paysages et ses formations géologiques. La création de géoparcs fournira probablement *de facto* un certain degré de coordination dans la conservation à l'échelle des paysages, une utilisation durable et un développement social et économique complémentaires, même si pas toujours en accord avec les définitions strictes des catégories de l'UICN. En 2014, le réseau regroupait 111 géoparcs nationaux dans le monde (UNESCO, 2014a).

Les géoparcs combinent la conservation du patrimoine géologique avec l'encouragement de sa jouissance, compréhension et éducation, ainsi que le soutien au

Figure 18.3 Logo du Réseau mondial des géoparcs soutenu par l'UNESCO

Source : UNESCO

développement socioéconomique et culturel durable grâce au géo-tourisme (McKeever et al., 2010). Le GGN fonctionne en étroite synergie avec la Convention du patrimoine mondial, le Réseau mondial des réserves de biosphère du Programme l'Homme et la biosphère (MAB), ainsi qu'avec des organisations non gouvernementales (ONG) nationales et internationales et des programmes de conservation du patrimoine géologique. Les sites du GGN doivent répondre à des critères relatifs à leur taille et caractéristiques, à la gestion et à la participation locale, au développement économique, à l'éducation, et à la protection et à la conservation (UNESCO, 2010). Les géoparcs ne sont pas nécessairement des sites spécifiquement protégés, et font l'objet d'évaluations quadriennales de leur performance et de leur gestion. Si un géoparc ne répond plus aux critères, et que les problèmes identifiés ne sont pas résolus dans les deux années qui suivent, il sera retiré de la liste du GGN.

Dingwall et al. (2005) ont recommandé que le GGN soit considéré comme une approche complémentaire de

l'inscription au Patrimoine mondial. Cependant, il convient de reconnaître que la nature première du GGN n'est pas une liste de sites importants, mais de sites sélectionnés à des fins de tourisme et de promotion. Il reste nécessaire d'établir une liste internationale de géosites importants, aux côtés des sites du Patrimoine mondial et des géoparcs, car chacun a un rôle différent à jouer dans la géoconservation internationale.

Géosites d'importance internationale

Afin de contribuer au programme d'inventaire des géosites mondiaux (Wimbledon et al., 2000), certains pays, comme l'Espagne (García-Cortés et al., 2001, 2009) et le Portugal (Brilha et al., 2005), ont entrepris des inventaires de sites d'importance internationale. Les géosites identifiés dans le cadre de ce programme sont intégrés aux réseaux nationaux d'aires protégées, afin d'assurer leur bonne gestion. Initialement adopté par l'Union internationale des sciences géologiques, puis abandonné en raison de problèmes financiers, le programme de géosites mondiaux est actuellement en cours de développement dans de nombreux autres pays européens (Wimbledon et Smith-Meyer, 2012), et ses principes restent valables pour l'identification et la comparaison globale des cadres géologiques et des sites du patrimoine géologique d'intérêt international.

Le réseau de plus de 100 Sections et points stratotypiques mondiaux (GSSP) établi par la Commission internationale de stratigraphie, une commission de l'Union internationale des sciences géologiques (Gray, 2011), représente une lacune importante dans le réseau international de sites protégés du patrimoine géologique. Ce réseau comprend tous les sites clés pour l'étape, le système et les limites de la série de la colonne géologique, qui forment les éléments fondamentaux de la stratigraphie.

Échelle nationale

De nombreux pays ont adopté des systèmes d'évaluation de sites, en fonction de caractéristiques géologiques et géomorphologiques, à partir de toute une gamme de critères (Wimbledon et Smith-Meyer, 2012). La majorité d'entre eux sont basés sur des critères incluant la valeur scientifique, la représentativité, la rareté, la diversité des caractéristiques et l'intégrité (Lima et al., 2010), ainsi que sur une évaluation comparative et des informations publiées fournies par des experts à propos du site, travaillant à un cadre géologique défini (Erikstad et al., 2008 ; ProGEO, 2011). Les évaluations sont généralement basées sur une approche fondée sur le jugement d'experts, mais dans certains cas, des approches paramétriques numériques ont été adoptées ou proposées (par exemple, Lima et al., 2010 ; Bruschi et al., 2011). Ces dernières sont probablement plus utiles lorsqu'un éventail plus large de critères est appliqué (par exemple, l'utilisation pour l'éducation ou le tourisme, la vulnérabilité), et que des

Figure 18.4 Valeurs fondamentales et complémentaires du patrimoine géologique

Source : Adapté de Reynard (2009b)

pondérations différentes peuvent être attribuées à différents critères. Lorsque l'accent est mis spécifiquement sur la valeur scientifique, les approches de notation paramétrique risquent de perdre de vue le raisonnement scientifique fondamental. Par conséquent, il est essentiel de fournir une justification scientifique complète, comme dans le cas de l'Évaluation de la conservation géologique (GCR) en Grande-Bretagne.

La GCR, et l'Évaluation analogue de la conservation des sciences de la Terre en Irlande du Nord (National Museums Northern Ireland, 2003), sont de bons exemples d'évaluations nationales systématiques (voir ci-dessus). La justification sous-jacente est que les sites sont sélectionnés uniquement pour leur intérêt scientifique, par un processus d'évaluation par des experts, et doivent apporter une contribution spéciale à la compréhension et à l'appréciation du patrimoine géologique britannique. Plus de 3 000 sites ont été sélectionnés, et la plupart ont été désignés comme Sites d'intérêt scientifique spécial (SSSI), et bénéficient d'une protection légale. En Écosse, ce type d'approche a été étendu au milieu marin, afin d'identifier les zones clés de diversité géologique des fonds marins, de la côte jusqu'au bord du plateau continental (Brooks et al., 2013). Compte tenu des contraintes de ressources et des difficultés de gestion et de suivi des zones sous-marines, une approche pragmatique pourrait consister à prioriser l'action en fonction de la sensibilité et de la vulnérabilité des intérêts du patrimoine géologique, et à aligner autant que possible la géoconservation marine sur la conservation de la biodiversité grâce à une approche intégrée (Gordon et al., 2013). Par exemple, en Norvège, l'application de la cartographie des « zones naturelles » au milieu marin vise à fournir une base pour une conservation intégrée, reflétant les liens étroits entre la diversité géologique et la biodiversité marines (Dolan et al., 2009 ; Thorsnes et al., 2009).

En dehors de l'Europe, aucune évaluation nationale systématique de sites n'a généralement été entreprise, ce qui est considéré comme une lacune majeure. En Australie, cependant, des efforts conséquents ont été entrepris sur tout le continent, la Société géologique australienne jouant un rôle majeur, aux côtés des organismes publics (Sharples, 2002 ; Brocx, 2008 ; Joyce, 2010 ; Worboys, 2013). La *Base de données de géoconservation de Tasmanie (TGD)*

(DPIPWE, 2014) fournit un bon modèle. La TGD est un vaste inventaire de sites importants pour la géoconservation, et a été initialement compilée à partir d'une série d'inventaires *ad hoc*. Au cours des 15 dernières années, elle a été activement gérée par un groupe de référence spécialisé, nommé par l'organisme gouvernemental compétent (ministère des Industries primaires, des Parcs, de l'Eau et de l'Environnement : DPIPWE) et, par conséquent, se développe progressivement en un inventaire du patrimoine géologique plus systématique et plus complet. Bien qu'elle ne dispose d'aucun pouvoir statutaire, elle est devenue un outil clé dans la gestion des terres en Tasmanie (DPIPWE, 2014).

Outre la valeur scientifique, d'autres approches ont reconnu les valeurs esthétiques, culturelles/historiques, économiques et écologiques des aires protégées pour la géoconservation (Kiernan, 1996 ; Panizza, 2001 ; Coratza et Panizza, 2009 ; Reynard, 2009a). Reynard (2009b) a proposé que la valeur géologique soit la valeur de base, et les autres, des valeurs complémentaires (figure 18.4).

Certaines approches ont également appliqué des méthodes quantitatives à l'évaluation des sites, intégrant à la fois des valeurs scientifiques et des valeurs plus générales, comme par exemple, en Suisse (Reynard et al., 2007), en Espagne (Bruschi et al., 2011 ; Pellitero et al., 2011), au Portugal (Pereira et al., 2007) et en Grèce (Fassoulas et al., 2011). Rovere et al. (2011) ont étendu cette approche pour évaluer le patrimoine géologique dans deux zones sous-marines au large des côtes grecques et italiennes. Certaines approches ont porté sur des sous-ensembles de géosites. Par exemple, l'Association internationale des géomorphologues s'est penchée sur l'évaluation et la conservation des sites géomorphologiques (Reynard et al., 2009).

La valeur des sols a tendance à être négligée dans les évaluations de géoconservation, bien qu'elle soit prise en compte dans les évaluations des services écosystémiques (par exemple, Haygarth et Ritz, 2009 ; Dobbie et al., 2011). Pour les sols d'Écosse, cependant, Towers et al. (2005) ont développé une méthodologie visant à définir un indice de conservation des sols basé sur l'évaluation de leur rareté, de leur représentativité et de leur diversité, à l'aide de caractéristiques pédologiques.

Échelle locale

Il existe de nombreuses approches différentes de la géoconservation locale dans le monde entier. En Grande-Bretagne, par exemple, des réseaux de sites d'importance régionale ou locale ont été identifiés. Il s'agit des Sites locaux ou Sites géologiques locaux (Angleterre), des Sites locaux de diversité géologique (Écosse) ou des Sites de diversité géologique d'importance régionale (Pays de Galles) (DEFRA, 2006 ; Scottish Natural Heritage, 2006). Tous disposent de directives de protection discrétionnaires concernant le traitement des demandes de développement, et leur valeur réside dans le fait qu'ils peuvent être désignés pour un éventail beaucoup plus vaste de critères que les SSSI, y compris l'importance éducative, esthétique et historique (Burek 2012). D'autres pays ont également identifié des réseaux régionaux de géosites, comme l'Espagne (voir, par exemple, Fuertes-Gutiérrez et Fernández-Martínez, 2010). À des fins de planification locale, y compris la gestion de grandes aires protégées telles que les parcs nationaux, la reconnaissance des valeurs du patrimoine géologique sera importante, même si celles-ci ne figurent pas sur les listes nationales ou ne répondent pas aux critères normaux applicables aux aires protégées individuelles (Erikstad 2012).

Principes de géoconservation

Cette section énonce les principes généraux de la géoconservation dans les aires protégées.

Rôle des catégories de gestion de l'UICN pour la géoconservation

La géoconservation dans les aires protégées s'applique à toutes les catégories de gestion des aires protégées de l'UICN, et plus spécifiquement à la catégorie III. Les lignes directrices de 2008 (Dudley, 2008) décrivent la situation dans les deux cas, et sont citées ci-dessous.

Pertinence de toutes les catégories

Les catégories de gestion des aires protégées de l'UICN (chapitre 2) s'appliquent largement à la gestion du patrimoine géologique. Cela reflète les liens entre la conservation abiotique et biotique, ainsi qu'avec les valeurs culturelles. Par conséquent, la géoconservation peut s'appliquer à la gestion des aires protégées affectées à l'une des six catégories de gestion, ainsi qu'à celles affectées à la catégorie III.

Des exemples sont donnés dans le tableau 18.3. Les valeurs du patrimoine géologique peuvent également s'appliquer à toutes les autres catégories. Les lignes directrices de 2008 fournissent les exemples indiqués dans le tableau 18.4.

Aires protégées de catégorie III de l'UICN

Traditionnellement, la catégorie III a été considérée comme la seule possible pour la conservation de caractéristiques et de processus spécifiques du patrimoine géologique. Ce n'est pas tout à fait le cas, comme nous le verrons ci-dessous. La définition détaillée de cette catégorie est la suivante :

Les aires protégées de la catégorie III sont mises en réserve pour protéger un monument naturel spécifique, qui peut être un élément topographique, une montagne ou une caverne sous-marine, une caractéristique géologique telle qu'une grotte, ou même un élément vivant, comme un îlot boisé ancien. Elles sont généralement assez petites et ont souvent beaucoup d'importance pour les visiteurs. (Dudley, 2008:17)

Tel que défini dans les lignes directrices, l'objectif principal de la catégorie III est de « protéger des éléments naturels exceptionnels spécifiques, ainsi que la biodiversité et les habitats associés » (Dudley, 2008:17). D'autres objectifs peuvent également s'appliquer, tels que :

- assurer la protection de la biodiversité dans des paysages terrestres ou marins ayant, par ailleurs, subi des changements majeurs ;
- protéger des sites naturels spécifiques possédant une valeur spirituelle et/ou culturelle, lorsqu'ils sont également importants pour la biodiversité ;
- préserver les valeurs spirituelles et culturelles traditionnelles du site (Dudley, 2008:17).

Une aire protégée de catégorie III pourrait inclure certains des éléments suivants :

1. Des éléments naturels, géologiques et géomorphologiques : tels que chutes d'eau, falaises, cratères, grottes, gisements de fossiles, dunes de sable, formations rocheuses, stratotypes et sections stratigraphiques, vallées et éléments marins tels que montagnes sous-marines ou formations coralliennes.
2. Des éléments naturels influencés par la culture : comme des installations troglodytiques ou d'anciennes pistes.
3. Des sites naturels culturels : comme les nombreuses formes de sites naturels sacrés (îlots forestiers, sources, montagnes ou criques sacrés, etc.) importants pour un ou plusieurs groupes religieux.
4. Des sites culturels et leur écologie associée : là où la protection d'un site culturel protège également une biodiversité significative et importante, tels les sites archéologiques/historiques inextricablement liés à une aire naturelle.

Tableau 18.3 Exemples d'aires protégées du patrimoine géologique dans les catégories de gestion de l'UICN

Catégorie	Exemples nationaux et justification	Exemples de biens du Patrimoine mondial
Ia. Réserve naturelle intégrale	Calotte glaciaire du Groenland, Groenland : calotte glaciaire et nunataks. Vallée de Geysir, Zapovednik Kronotsky, Russie : caractéristiques volcaniques.	Réserve naturelle de l'Île Macquarie, Australie : roches du manteau terrestre. Surtsey, Islande : processus biotiques et abiotiques sur la nouvelle île formée en 1963-1967.
Ib. Zone de nature sauvage	Réserve naturelle spéciale des Dunes de Maspalomas, Espagne : marais salants dans des dunes du Pléistocène. Noatak Wilderness, Alaska, États-Unis : bassin fluvial.	Plateau de Putorana, Russie : plateau de basalte.
II. Parc national	Parc national du Grand Canyon, États-Unis : registre stratigraphique et érosion des terres arides.	Parc national Dolomiti Bellunesi, Italie : karst, glaciokarst et récifs.
III. Monument ou élément naturel	Réserve de conservation karstique de Jenolan, Australie : système karstique. Bosques Petrificados, Argentine : forêt pétrifiée.	Parc national de Boodjamulla (Lawn Hill), Australie : fossiles de vertébrés terrestres. Parc national des dinosaures, Canada : fossiles de dinosaures.
IV. Aire de gestion des habitats ou des espèces	Réserve naturelle partielle des montagnes de Montserrat, Espagne : roches sédimentaires, grottes et formes d'érosion des montagnes. Parc marin de l'île de Lord Howe, Australie : monts volcaniques sous-marins.	Parc national des Galápagos, Équateur : processus géologiques modernes.
V. Paysage terrestre ou marin protégé	Parc national de Cairngorms, Royaume-Uni : histoire de la Terre et processus géomorphologiques modernes. Parc naturel de Cabo de Gata-Níjar, Espagne : histoire volcanique et Quaternaire. Aire protégée du paysage de Lyngsalpan, Norvège : montagnes alpines avec glaciers, moraines, protection de la diversité géologique.	Réserve régionale des Grottes de Škocjan, Slovénie : gouffres, grottes et rivières souterraines.
VI. Aire protégée avec utilisation durable des ressources naturelles	Parc rural de Nublo, Espagne : vulcanologie, géomorphologie. Parc naturel de Sečovlje Salina, Slovénie : extraction de sel.	Parc marin de la Grande Barrière de corail, Australie : évolution du système de récifs coralliens.

Sources : Lockwood et al. (2006) ; Dudley (2008) ; UNESCO (2014b) ; pour les exemples espagnols, E. Díaz-Martínez, communication personnelle ; pour les exemples norvégiens, L. Erikstad, communication personnelle

Tableau 18.4 Patrimoine géologique et catégorie de gestion appropriée de l'UICN

Aspect du patrimoine géologique	Catégorie UICN appropriée
La protection vise principalement une caractéristique individuelle d'intérêt (monument naturel comme une cascade ou une grotte) ou un site de valeur nationale ou internationale pour comprendre l'histoire de la Terre (par exemple, un stratotype).	Catégorie III principalement
Assemblage de formes de relief (par exemple, système de vallée glaciaire, cordillère) et/ou de processus, ou de caractéristiques géologiques.	Catégories Ia, Ib, II et V principalement
Les caractéristiques ont un potentiel d'interprétation et de stimulation du géo-tourisme.	Catégories II et III principalement
L'intérêt du patrimoine géologique est, lui-même, une base pour les habitats et les espèces (par exemple, plantes affines au calcium ou espèces adaptées aux dunes de sable dynamiques).	Catégories Ia, Ib, II, IV, V et VI principalement

Le patrimoine géologique présente des liens importants avec les paysages culturels (par exemple, grottes utilisées comme habitations troglodytes ou reliefs adaptés à l'agriculture en terrasses).	Catégorie V principalement, ainsi que catégories II et III
Le patrimoine géologique est la base d'une gestion durable (activités associées à des processus naturels, tels que le tourisme volcanique, ou l'utilisation des plaines inondables comme zones rizicoles traditionnelles).	Principalement compatible avec les catégories V et VI
Protection comprenant des caractéristiques géologiques associées à des valeurs spirituelles ou religieuses particulières pour un groupe de parties prenantes.	Catégories Ia et III principalement

Source : Dudley (2008)

Les composantes de biodiversité des aires protégées de catégorie III sont de deux types principaux :

1. la biodiversité liée uniquement aux conditions écologiques associées à l'élément naturel, comme les zones humides côtières tributaires des marées, les endroits vaporisés par une chute d'eau, les conditions écologiques prévalant dans les grottes, les espèces végétales confinées à des falaises, ou les prairies confinées à des plaines calcaires basses ou à des alvars ;
2. la biodiversité survivant parce que la présence des valeurs spirituelles ou culturelles du site a préservé un habitat naturel ou semi-naturel dans ce qui serait,

sans cela, un écosystème modifié, comme certains sites naturels ou historiques sacrés associés à des aires naturelles. Dans ce cas, les critères clés pour leur admission comme aire protégée seront : 1) la valeur du site en tant que contribution à la conservation à grande échelle, et 2) la priorité accordée à la conservation de la biodiversité dans les plans de gestion, la catégorie III a été suggérée, car elle recourt à une approche naturelle de la gestion, pour de nombreux sites naturels sacrés, tels que les îlots forestiers sacrés. Même si l'on trouve des sites naturels sacrés dans toutes les catégories et que ceux-ci peuvent bénéficier d'un large éventail d'approches de gestion, ils peuvent être particulièrement bien adaptés à une gestion en tant que monuments naturels.

La catégorie III est réellement destinée à protéger ce qui est inhabituel, plutôt qu'à fournir des composants logiques dans une approche à grande échelle de la conservation, de sorte que le rôle de ces éléments dans les stratégies à l'échelle des paysages ou écorégionales peut parfois être plus opportuniste que réellement planifié. Dans d'autres cas, par exemple les réseaux de grottes, ces sites peuvent jouer un rôle écologique clé identifié dans les plans de conservation plus généraux. Les monuments naturels importants peuvent parfois servir d'incitation pour la protection, et d'opportunité pour l'éducation environnementale et culturelle, même dans des aires où d'autres formes de protection se voient repoussées par la pression de la population ou du développement, comme c'est le cas de sites sacrés ou culturels importants. Dans ces cas-là, la catégorie III peut préserver des échantillons d'habitats naturels dans des paysages par ailleurs culturels ou fragmentés.

La catégorie III se distingue des autres catégories, car la gestion y est généralement axée sur la protection et le maintien de caractéristiques naturelles particulières et des processus assurant leur maintien (tableau 18.5).

Le fait qu'un site abrite un monument naturel important ne signifie pas qu'il sera inévitablement géré en tant qu'aire de catégorie III. Par exemple, le Grand Canyon, en Arizona, est géré en tant que Catégorie II, bien que ce soit l'un des monuments naturels les plus célèbres au monde, car

Site du Patrimoine mondial de Surtsey, Islande : une nouvelle île s'est formée, entre 1963 et 1967, sur la zone de séparation des plaques géologiques, le long de la dorsale médio-Atlantique

Source : Roger Crofts

Tableau 18.5 Aires protégées de catégorie III par rapport aux autres catégories

Catégories Ia et Ib	La catégorie III ne se limite pas aux paysages naturels et vierges, mais pourrait également s'appliquer à des zones de paysages culturels ou fragmentés. Les visites et les loisirs sont souvent encouragés et la recherche et le suivi se limitent à la compréhension et au maintien d'un élément naturel particulier.
Catégorie II	La gestion de la catégorie III ne met pas l'accent sur la protection de l'ensemble de l'écosystème, mais sur des caractéristiques naturelles particulières. À part cette différence, la catégorie III est similaire à la catégorie II, et gérée de la même manière, mais à une échelle plus petite, tant en termes de taille que de complexité de la gestion.
Catégorie IV	La gestion de la catégorie III ne met pas l'accent sur la protection d'espèces ou d'habitats clés, mais sur la protection de caractéristiques et de processus naturels particuliers.
Catégorie V	La catégorie III ne se limite pas aux paysages culturels, et les pratiques de gestion seront probablement davantage axées sur une protection plus stricte de la caractéristique et des processus particuliers que dans le cas de la catégorie V.
Catégorie VI	La catégorie III ne vise pas l'utilisation durable des ressources.

c'est aussi une zone vaste et diversifiée, avec des activités récréatives associées, ce qui la rend mieux adaptée à un modèle de catégorie II. La catégorie III est plus appropriée lorsque la protection de la caractéristique est l'objectif unique ou dominant.

Création de nouvelles aires protégées du patrimoine géologique

Dans le contexte des cadres systématiques d'identification des aires protégées pour la géoconservation (voir ci-dessus), il sera possible de désigner de nouveaux sites. Ceux-ci résulteront d'un certain nombre de circonstances, telles que de nouvelles connaissances et une meilleure compréhension des caractéristiques et des processus, de nouvelles expositions résultant de l'érosion naturelle ou de l'exploitation de carrières, de nouvelles études de sites dans des zones précédemment négligées, ou la formation de nouveaux territoires et de gisements minéraux associés, sur terre et sous la mer, en raison de l'activité tectonique et volcanique. Pour déterminer s'il y a lieu de créer de nouvelles aires protégées, il faudra tenir compte de l'adéquation du cadre systématique existant, ainsi que de tout ajustement apporté au réseau de sites pour tenir compte des nouvelles connaissances ou interprétations.

Au niveau local ou régional, des plans d'action locaux pour la diversité géologique (LGAP) seront nécessaires pour évaluer les utilisations potentielles des aires protégées, cibler et hiérarchiser les ressources, et viser une gestion et une interprétation appropriées des aires protégées (English Nature, 2004 ; Burek et Potter, 2006). Il existe aujourd'hui de nombreux exemples de LGAP au Royaume-Uni (par exemple, Lawrence et al., 2007). Dans certains cas, ils sont intégrés aux plans d'action locaux pour la biodiversité. En Italie, le programme de gestion proactive du patrimoine

géologique du Piémont (PROGEO-Piemonte) vise à développer une planification d'action pour la gestion du patrimoine géologique avec la participation de partenaires locaux, et à répondre aux besoins des communautés locales en matière de tourisme, de développement durable et de sensibilisation aux risques géologiques (Ferrero et al., 2012). Ces plans peuvent également servir de modèle pour développer la protection du patrimoine géologique et son intégration dans la gestion de la conservation des différentes catégories d'aires protégées.

Lignes directrices des cadres stratégiques de géoconservation

Une hiérarchie des lignes directrices pour la géoconservation peut constituer un élément précieux de la boîte à outils pour la gestion des aires protégées. Le passage d'un cadre national de diversité géologique, par le biais de plans d'action régionaux et locaux de diversité géologique, à des plans de gestion des aires protégées de géoconservation, permet de placer la gestion de l'aire protégée dans un contexte plus général, et d'établir des liens qui renforceront la gestion, et imposeront aux autres parties des responsabilités d'agir de manière complémentaire. Les applications spécifiques doivent correspondre aux conditions locales, à la législation et aux systèmes de gestion.

Au niveau national, un cadre de diversité géologique peut être particulièrement utile pour élaborer une approche stratégique de la géoconservation, établir des objectifs de haut niveau pouvant être utilisés pour mesurer et rendre compte des progrès, aider à recruter des partenaires et coordonner les activités, et promouvoir la géoconservation (par exemple, Gordon et Barron, 2011). Des stratégies et plans d'action de géoconservation sont en cours d'élaboration dans de nombreux pays européens (Wimbledon et Smith-Meyer, 2012). Parmi les exemples de cadres nationaux, on peut citer

Encadré 18.2 Cadres stratégiques pour la géoconservation : l'expérience britannique

Le Plan d'action pour la diversité géologique du Royaume-Uni (UKGAP, 2014) fournit un cadre stratégique pour l'action en faveur de la diversité géologique au Royaume-Uni, unifiant les activités nationales, régionales et locales. Approuvé par les organisations, les groupes et les individus actuellement impliqués dans des activités de diversité géologique, il fournit un mécanisme pour encourager les partenariats, influencer les décideurs, les responsables politiques et les organismes de financement, et promouvoir les bonnes pratiques. Le UKGAP comprend six thèmes :

1. favoriser la compréhension de la diversité géologique ;
2. influencer les politiques, la législation et la conception du développement ;
3. collecter et gérer l'information ;
4. conserver et gérer la diversité géologique ;
5. inspirer les gens à valoriser et à prendre soin de la diversité géologique ;
6. garantir des ressources (humaines et financières) pour la diversité géologique.

Chaque thème comporte un ensemble d'objectifs et de cibles (domaines de travail contribuant à la réalisation des objectifs).

Le Scottish Geodiversity Forum promeut la diversité géologique écossaise, et cherche à élargir le profil de la diversité géologique et à influencer les politiques nationales et locales dans les domaines de l'éducation, de la participation communautaire et de la santé, du développement du tourisme et de l'économie au sens large. Ses membres incluent des groupes locaux de géoconservation, des géoparcs, les secteurs de l'industrie, de l'éducation et des universités, le gouvernement et les ONG affines, ainsi que toute personne intéressée. La Charte écossaise de la diversité géologique, produite par le forum, définit une

approche stratégique de la géoconservation axée sur une approche écosystémique, y compris une vision selon laquelle la diversité géologique écossaise est reconnue comme une partie intégrante et vitale de l'environnement, de l'économie, du patrimoine et du développement durable futur, à sauvegarder et à gérer de manière appropriée pour les générations présentes et futures (Scottish Geodiversity Forum, 2013). Les signataires (actuellement 51) s'engagent à contribuer aux activités du forum et à réaliser les objectifs de la Charte dans quatre grands domaines d'activité :

1. sensibiliser à l'importance de la diversité géologique et à ses liens plus généraux avec les paysages, la culture et le sentiment d'appartenance à un lieu, et encourager un sentiment de fierté par l'éducation (à tous les niveaux, y compris les écoles, les universités et l'apprentissage tout au long de la vie), la promotion, la sensibilisation et l'interprétation publique ;
2. intégrer la diversité géologique dans les politiques pertinentes, afin d'assurer une gestion durable du patrimoine naturel, des terres et de l'eau à l'échelle des paysages et des écosystèmes ;
3. conserver et mettre en valeur le patrimoine géologique et son caractère spécial, dans les sites et aires désignés existants, par l'établissement de nouveaux sites d'importance nationale et locale, et dans les environnements ruraux, urbains et marins plus généraux ;
4. promouvoir la recherche visant à améliorer la compréhension du rôle de la diversité géologique dans la fourniture d'avantages aux écosystèmes et aux populations, et à combler les lacunes de connaissances clés telles que les liens fonctionnels entre la diversité géologique et la biodiversité dans les environnements terrestres, d'eau douce et marins.

le Plan d'action pour la diversité géologique du Royaume-Uni (UKGAP) et la Charte écossaise pour la diversité géologique (encadré 18.2).

L'élément fondamental des plans d'action locaux est un inventaire ou un audit des sites et des ressources de diversité géologique dans une zone, tel qu'il a été développé, par exemple, au Royaume-Uni (par exemple, Lawrence et al., 2004) et en Tasmanie (par exemple, DPIPWE, 2014).

Principes directeurs pour la géoconservation dans les aires protégées

Le développement d'approches plus intégrées de la gestion des systèmes naturels dépend, en partie, de l'application efficace des principes de géoconservation. Ceux-ci peuvent

s'appliquer de façon générale, et s'appliquent aussi spécifiquement à la gestion des aires protégées (encadré 18.3). Ces principes sont plus faciles à énumérer qu'à mettre en pratique, car il y aura inévitablement une résistance à l'acceptation du changement et à l'adaptation aux nouvelles approches. Il faudra du temps et de la patience pour réunir tous les intérêts et penser de manière créative. Le personnel clé des aires protégées aura besoin d'expertise en négociation et en résolution de conflits.

Bon nombre de ces principes sont aujourd'hui appliqués à la gestion des aires protégées. Cela est illustré dans les plans de gestion côtière et la gestion intégrée des bassins hydrographiques. Ils sont également reconnus dans les cadres de planification écosystémiques complets élaborés, par exemple, dans le Plan de conservation de la Moraine d'Oak Ridges, Ontario (Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing, 2012). L'approche écosystémique, en

Encadré 18.3 Principes directeurs pour la géoconservation dans les aires protégées

1. L'inévitabilité du changement naturel doit être reconnue : aucun système ou élément d'un système n'est à jamais statique, et le changement se produira, en particulier dans un contexte mondial de changements climatiques. L'approche traditionnelle consistant à maintenir les conditions actuelles de conservation des caractéristiques devrait être reconsidérée dans les cas où la préservation n'est pas l'objectif de gestion (voir également le chapitre 10 pour plus d'explications).
2. Les changements résultant des changements climatiques mondiaux, quelle que soit l'ampleur attribuée à des facteurs naturels ou anthropiques, remettront inévitablement en question les objectifs de gestion. Une attention particulière sera nécessaire lorsque, par exemple, les caractéristiques seront perdues et/ou les processus seront atténués ou intensifiés, ce qui modifiera la base de la protection. Cela pourrait signifier que le statut de protection n'est plus justifiable.
3. Les systèmes et processus naturels devraient être gérés de manière à maintenir le rythme et l'ampleur naturels du changement, ainsi que leur capacité d'évoluer grâce à l'action des processus naturels.
4. Les systèmes et processus naturels devraient être gérés de manière intégrée dans l'espace, par exemple pour atteindre des objectifs complémentaires, tels que la diversité géologique, la biodiversité et la conservation de la diversité des paysages.
5. Toute gestion et intervention devrait fonctionner avec, plutôt que contre, les processus naturels : imiter la nature et les processus naturels est plus efficace que d'essayer d'imposer des solutions humaines cherchant à les contrôler ou les arrêter.
6. Les systèmes naturels devraient être gérés dans les limites de leur capacité à absorber les changements : certains systèmes seront plus en mesure que d'autres d'absorber le changement et d'autres seront très fragiles, avec une tolérance très faible au changement.
7. La sensibilité des systèmes naturels doit être reconnue, y compris la possibilité de changements irréversibles si des seuils limites sont franchis. Il est rare que les systèmes abiotiques soient suffisamment robustes pour pouvoir absorber tout changement qui leur est imposé. Si certains types ou niveaux de changement sont apportés, l'effort de conservation sera annulé, car les caractéristiques et processus d'origine auront été modifiés de façon irréversible.
8. La gestion de la conservation des systèmes actifs devrait être fondée sur une bonne compréhension des processus physiques sous-jacents, par exemple la mise en place de cellules côtières dans la préparation des plans de gestion des côtes, l'intégration des processus liés aux cours d'eau, aux sols et aux pentes dans les plans de gestion des bassins versants, ou le suivi des processus actifs.
9. Les solutions d'ingénierie basées sur des structures « dures », telles que le béton, doivent être évitées, car elles peuvent détruire les caractéristiques et les processus de l'aire protégée. Au lieu de cela, des approches plus « douces » de la gestion devraient être adoptées, en utilisant des matériaux naturels, imitant la nature autant que possible. Par exemple, l'élimination des mangroves offrant une protection naturelle des lignes côtières et protégées pour leur intérêt biologique, et leur remplacement par des structures solides telles que des murs en béton devraient être évités.

Note : Ces principes ont été développés dans Crofts et Gordon (2014).

particulier, a été adoptée comme cadre principal d'action dans le contexte de la CDB, et fournit un moyen d'intégrer plus étroitement la diversité géologique et la biodiversité à plus grande échelle.

Lignes directrices de planification de sites

Certains sites ne seront pas établis et gérés uniquement à des fins de géoconservation. Les intérêts de géoconservation seront inclus dans des sites gérés pour divers aspects de la conservation de la biodiversité ou pour des services écosystémiques ou des raisons culturelles, conformément à la définition de l'UICN. Dans tous les cas, quel que soit l'équilibre de l'importance entre les différentes raisons

d'établissement d'une aire protégée, une approche globale de la gestion de tous les intérêts valorisés sera nécessaire.

Dans toutes ces situations, il est essentiel que la composante de géoconservation soit incluse dans toute la documentation et les spécifications de gestion du site, ainsi que dans les plans de travail et les activités de tout le personnel. Ce matériel devrait faire partie intégrante du plan de gestion de l'aire protégée décrit au chapitre 13. Le matériel de documentation du site en matière de géoconservation, afin que celle-ci soit intégrée au plan de gestion de l'aire protégée, devra inclure :

- les raisons de la conservation de l'intérêt géopatrimonial (par exemple, scientifique, éducatif), y compris le type d'intérêt et le niveau ou l'échelle de pertinence (locale, régionale, nationale ou internationale) ;

- la spécification des éléments particuliers (par exemple, matériaux, structures, reliefs), des systèmes et des processus à conserver, y compris leur classification (par exemple, stratigraphique, tectonique, géomorphologique, paléontologique, minéralogique, hydrogéologique, pétrologique) et leur localisation précise à l'intérieur du site (établie par cartographie et photographie) ;
- la spécification de la fragilité, des risques de dommages et des dangers potentiels et autres causes susceptibles de provoquer la perte de l'intérêt des caractéristiques et des processus ;
- les liens avec les autres aspects de la nature et de la culture que le site protège ;
- les conflits potentiels avec la gestion des intérêts non abiotiques, en particulier les intérêts biotiques et culturels, et comment ceux-ci peuvent être résolus ;
- les exigences de gestion pour maintenir ou renforcer les intérêts, selon les raisons de la désignation, et la nécessité de minimiser les conflits avec d'autres raisons de la désignation ;
- les modalités de gestion à l'intérieur de l'aire, y compris la définition des limites, des zones centrales et des zones tampons, et l'affectation aux catégories de gestion et aux types de gouvernance appropriés de l'UICN ;
- un protocole de suivi et d'évaluation de l'état de conservation de l'intérêt pour le patrimoine géologique.

Wimbledon et al. (2004) fournissent une étude de cas exemplaire de l'application d'une telle méthodologie à la gestion des géosites au Pays de Galles.

Utilisation des zones centrales et tampons

L'identification de zones centrales et tampons environnantes devrait être un élément important des modalités de gestion de la géoconservation. Les deux concepts sont étroitement liés et les zones tampons sont un complément nécessaire à la zone centrale, car sans elles, il sera beaucoup plus difficile de protéger les caractéristiques et l'intégrité de cette zone centrale. L'approche du Programme l'Homme et la biosphère de l'UNESCO fournit une base pratique pour identifier ces deux types de zones. Pour les réserves de biosphère, elles sont définies comme suit.

- *Zone(s) centrale(s)* : zones hautement protégées pour conserver la diversité biologique, réaliser un suivi d'écosystèmes peu perturbés et entreprendre des recherches non destructives et autres utilisations à faible impact (comme l'éducation). En plus

de sa fonction de conservation, la zone centrale contribue à conserver toute une gamme de services écosystémiques qui, en termes de fonctions de développement, peuvent être évalués en termes économiques (par exemple, séquestration du carbone, stabilisation des sols, approvisionnement en eau et en air propres, etc.). Les opportunités d'emploi peuvent également compléter les objectifs de conservation (par exemple, l'éducation environnementale, la recherche, les mesures de réhabilitation et de conservation de l'environnement, les loisirs ou l'écotourisme).

- *Zone tampon* : elle entoure ou jouxte habituellement les zones centrales et est utilisée pour des activités de coopération compatibles avec des pratiques écologiques saines, y compris l'éducation environnementale, les loisirs, l'écotourisme et la recherche appliquée et fondamentale. En plus de leur fonction d'amortisseur d'impacts pour les zones centrales, les zones tampons peuvent avoir leurs propres fonctions intrinsèques, « autonomes », visant à maintenir la diversité anthropique, biologique et culturelle. Elles peuvent également avoir une fonction de connectivité importante dans un contexte spatial plus général, car elles relient les composantes de la biodiversité situées dans les zones centrales à celles des zones de transition (UNESCO, 2014c).

Bien que cela ait été défini d'un point de vue de conservation de la diversité biologique, dans notre cas, l'expression « abiotique ou géoconservation » peut parfaitement être ajoutée ou se substituer à la terminologie originelle.

Une seule zone centrale entourée par une zone tampon ne sera pas toujours la bonne approche. Dans certaines situations, un certain nombre d'éléments importants du patrimoine géologique auront besoin d'être conservés au sein d'une même aire protégée, et plusieurs zones centrales et tampons offriront une approche plus appropriée.

Dans la pratique, l'identification et la gestion des zones centrales et tampons pour les aires protégées de géoconservation dépendent du motif spécifique de la désignation et donc du type d'aire protégée. Il y aura probablement une différence substantielle entre la définition des zones centrales et tampons pour de petites aires distinctes, par exemple, pour protéger un élément particulier du patrimoine géologique, comme un monument national, et pour de grands sites géo-patrimoniaux combinant de nombreuses caractéristiques, et où le maintien du fonctionnement efficace des processus terrestres est essentiel.

Approche pour les aires de catégorie III

Si le/les élément(s) protégé(s) sont relativement statiques, inactifs ou reliques, la zone centrale peut généralement être dessinée assez étroitement autour de l'étendue de ces éléments. La définition de la limite dépendra de la nécessité de contrôler les activités externes ayant un effet néfaste sur le site, comme un nombre excessif de visiteurs, des études géologiques pour la recherche ou l'éducation nécessitant le prélèvement de gros échantillons, ou une croissance végétale qui obstruerait l'intérêt. En outre, les activités nuisibles aux intérêts protégés principaux devraient être interdites dans la zone centrale, et de façon similaire, des restrictions devraient être imposées dans la zone tampon, des dispositions spécifiques devant être prises dans le plan de gestion et sur le site lui-même pour indiquer les restrictions et les raisons pour lesquelles celles-ci sont en place. Une limite plus grande peut également être nécessaire lorsque des sites doivent être excavés périodiquement pour maintenir une exposition claire, ou pour permettre l'évolution des expositions, là où elles s'érodent naturellement (par exemple, sur les côtes).

Approche pour les aires protégées du patrimoine géologique à plus grande échelle

De nombreuses aires protégées du patrimoine géologique présenteront une superficie considérable, et une approche différente sera nécessaire pour assurer la protection des principales caractéristiques et processus qui s'y trouvent. Cet aspect est comparable à la façon de penser aux exigences applicables à la protection d'un site de biodiversité désigné comme zone de nidification et de repos pour les oiseaux. Sans protection des zones d'approvisionnement alimentaire par des mesures appropriées, telles que des zones tampons ou l'extension de la zone centrale, le site de nidification et de repos deviendra redondant si les oiseaux n'ont pas accès à la nourriture.

De même, pour les aires protégées du patrimoine géologique, la zone tampon devrait être définie comme la zone nécessitant une gestion de conservation pour protéger les caractéristiques et les formes, ainsi que les systèmes et processus à l'origine de la protection. Par exemple, un réseau fluvial à lit de gravier sur une plaine alluviale moderne ou de sandur ne conservera son intérêt dynamique que si les variations d'approvisionnement en eau du glacier ou de la calotte glaciaire sont maintenues. Par conséquent, le sandur devra être désigné comme zone de protection centrale et les sources d'eau devront être protégées (par exemple, contre les barrages et les prélèvements à des fins hydroélectriques) par la désignation de zones tampons. De même, les systèmes

de grottes sont sensibles aux activités d'utilisation des terres dans leurs bassins hydrologiques plus généraux, qui affectent les rejets d'eau et de sédiments dans les passages de la grotte et nécessitent donc des zones tampons appropriées. Des zones tampons peuvent également être nécessaires pour les caractéristiques de processus dynamiques, comme par exemple, dans les milieux fluviaux et côtiers, afin de s'assurer que les processus naturels peuvent continuer à fonctionner sur toute leur gamme de variabilité naturelle (par exemple, la migration d'une zone de méandres à travers une plaine inondable).

Gestion de la géoconservation dans les aires protégées

La conservation exige l'élaboration d'objectifs de gestion clairs et un suivi périodique. Au Royaume-Uni, les principes de la gestion générique de la conservation ont été élaborés pour différentes catégories d'aires protégées de géoconservation, avec une distinction importante entre « exposition », « intégrité » et « finitude » des sites (tableau 18.6). Ces principes sont expliqués ci-après, car ils peuvent également s'appliquer à d'autres parties du monde. Des exemples d'application de ce système en Angleterre sont disponibles dans Natural England (2014).

Site d'expositions

Les aires protégées abritant des expositions contiennent des éléments géologiques (unités rocheuses ou sédiments) spatialement étendus sous le niveau du sol, de sorte que si un site ou une exposition est perdu, un autre pourrait être excavé à proximité. Ceci inclut les expositions dans des carrières actives et désaffectées, les falaises côtières et fluviales et les expositions sur les estrans, les tronçons routiers et ferroviaires, et les affleurements rocheux naturels à l'intérieur des terres. Le principe de conservation de base est que l'enlèvement de matière n'endommage pas nécessairement la ressource, car de nouvelles expositions du même type seront fraîchement exposées. Le principal objectif de gestion de ces sites est d'atteindre et de maintenir un niveau acceptable d'exposition des éléments d'intérêt, mais l'emplacement précis de l'exposition peut ne pas être crucial. Les sites d'exposition ne sont généralement pas endommagés par l'exploitation de carrières ou l'érosion, mais les expositions peuvent être cachées par une mise en décharge et le déversement de déchets. La perte d'expositions peut toutefois être compensée par l'excavation mécanique de nouvelles expositions de conservation à d'autres endroits appropriés.

Tableau 18.6 Classification des types de géosites pour la gestion de la conservation au Royaume-Uni

Catégorie	Type de site
Exposition ou étendue	Carrières et puits actifs.
	Carrières et puits désaffectés.
	Falaises côtières et estrans.
	Sections de rivière et de cours d'eau.
	Affleurements intérieurs.
	Expositions dans des mines et tunnels souterrains.
	Vaste intérêt enfoui.
	Tronçons de routes, de voies ferrées et de canaux.
Intégrité	Processus géomorphologique actif.
	Processus géomorphologique statique.
	Grottes.
	Karst.
Finitude	Minéral, fossile ou autre élément géologique fini.
	Terrils.
	Mines et tunnels souterrains finis.
	Intérêt fini enfoui.

Source : Prosser et al. (2006)

Sites d'intégrité

Les sites d'intégrité sont des sites géomorphologiques comprenant à la fois des éléments statiques (inactifs) (par exemple, des reliefs glaciaires du Pléistocène) et des éléments actifs, tels que ceux formés par des processus fluviaux, côtiers, karstiques et glaciaires contemporains. Ces sites peuvent être de grande taille et inclure des assemblages d'éléments statiques et actifs. Les dommages causés à une partie d'un site d'intégrité sont susceptibles d'avoir une incidence sur la valeur de l'ensemble du site. L'objectif principal de la gestion des entités statiques est de protéger l'intégrité de la ressource : si celles-ci sont endommagées ou détruites, elles ne peuvent pas être rétablies ou remplacées parce qu'elles sont uniques, ou parce que les processus qui les ont créées ne sont plus actifs. Elles sont également sensibles à des dommages partiels et à la fragmentation de l'intérêt, de sorte que l'intégrité des relations spatiales importantes entre les reliefs individuels peut être perdue. Il existe généralement peu d'options pour concilier la conservation et le développement par la gestion ou la compensation. Les mesures d'atténuation dépendront des circonstances locales, et peuvent inclure le déplacement de certaines parties du projet de développement afin d'éviter les reliefs clés. Parfois, la reconstruction ou la réplique du relief peut être possible à des fins esthétiques ou éducatives, bien que l'intégrité soit perdue.

Le principal objectif de gestion de la conservation des sites géomorphologiques actifs est de maintenir la capacité des

processus actifs à évoluer naturellement, leur permettant de fonctionner sur la majeure partie ou la totalité de leur gamme naturelle de variabilité et, par conséquent, de maintenir les vitesses et les amplitudes naturelles de changement et la connectivité entre les différents éléments (par exemple, entre les rivières et leurs plaines inondables). Une conséquence de cela est que les reliefs qu'ils produisent peuvent changer au fil du temps et certains peuvent être transitoires. Par exemple, les barres de gravier dans le lit d'une rivière peuvent être détruites lors d'une inondation importante, mais peuvent se reformer à mesure que le débit et le transport des sédiments se réajustent aux conditions d'écoulement « normales ». Ils peuvent également se reformer à des endroits différents. Les sites de processus actifs sont également sensibles aux changements à l'extérieur des limites du site de conservation, comme par exemple, des changements en amont affectant le débit d'une rivière et les apports de sédiments. Cela est plus susceptible de se produire sur les sites abritant des processus fluviaux, côtiers, de grottes ou de talus (mouvement de masse) et leurs caractéristiques connexes. Certains sites géomorphologiques actifs peuvent également contenir des reliefs inactifs intégrés à l'ensemble des reliefs.

Sites finis

Les sites finis comprennent des caractéristiques de portée limitée, qui seront épuisées et endommagées si l'une des ressources est supprimée ou perdue. Les exemples incluent les sites de type géologique, les occurrences de dépôts

interglaciaires quaternaires et les horizons fossilifères. Ils peuvent se trouver dans divers endroits, y compris des carrières actives et désaffectées, ou des sections côtières et fluviales. Dans certains cas, l'intérêt peut être enterré intentionnellement ou en raison de difficultés pratiques à maintenir les expositions dans des sédiments mous, ou comme mesure de conservation pratique pour protéger un intérêt particulièrement vulnérable (par exemple, Bridgland, 2013). Les sites finis nécessitent un contrôle étroit sur l'enlèvement ou la perte de matériel, et incluent de nombreux gisements minéraux et fossiles, des décharges minières, des mines souterraines et des intérêts enfouis (où l'intérêt est connu pour se produire sous terre et ne peut être exposé que par excavation). En général, des mesures d'atténuation ou de compensation seront rarement possibles. Selon le type et le niveau d'utilisation principale d'un site (par exemple, interprétation publique ou recherche), il peut ne pas être pratique ou nécessaire de maintenir une exposition. Dans de tels cas, un accès devra être maintenu pour l'excavation, le cas échéant (par exemple, pour la recherche scientifique).

En général, les aménagements à l'intérieur des aires protégées, susceptibles d'endommager le site et d'affaiblir les raisons de sa protection, devraient être découragés. Lorsqu'un aménagement est susceptible de causer des dommages importants à une aire protégée du patrimoine géologique, impossibles à éviter ou à atténuer de manière adéquate, il sera nécessaire de rechercher des sites de remplacement appropriés pour cet aménagement. En l'absence de telles solutions alternatives, l'aménagement nuisible au site ne devrait être autorisé que si des raisons impérieuses de durabilité ou d'importance nationale le justifient. Dans ce cas, des mesures d'indemnisation devront être demandées, y compris la création d'une exposition ou l'amélioration du site, ailleurs, si possible, pour maintenir, restaurer et, dans la mesure du possible, améliorer la valeur géo-patrimoniale du site ou de l'aire.

Gestion des risques

Robustesse et sensibilité

Comme indiqué précédemment, les géosites et les caractéristiques géologiques montrent des degrés variables de sensibilité à différents types d'activité humaine. Certaines caractéristiques peuvent être relativement robustes (la mesure dans laquelle elles peuvent résister à des perturbations) et nécessitent donc relativement peu d'intervention de gestion. D'autres, cependant, sont très sensibles (aux dommages ou à la dégradation causés par les activités humaines). La plupart, cependant, à l'exception de certaines caractéristiques de processus actifs à petite échelle (par exemple, un sol à motifs périglaciaires ou des barres de gravier dans une rivière), ont une résilience limitée

(la capacité de se reformer si endommagées ou détruites). Il s'agit là de considérations importantes pour prioriser la gestion des sites et des caractéristiques des aires protégées. S'appuyant sur des études antérieures, Kirkbride et Gordon (2010) ont compilé une évaluation de la sensibilité des reliefs reliques et des sites de processus géomorphologiques actifs en fonction d'une série d'activités humaines dans la partie centrale du parc national de Cairngorms, en Écosse. L'évaluation de la sensibilité des reliefs reliques est relativement facile, fondée sur une simple évaluation de l'ampleur probable de l'impact et de la perte de l'intérêt. Pour les systèmes géomorphologiques actifs, cependant, il pourrait être utile de considérer également d'autres facteurs, comme la résilience du système et sa réponse dynamique potentielle, y compris un réajustement prolongé (susceptible ou non de conduire à la récupération) ou un changement d'état (par exemple, d'une rivière anastomosée à une zone de méandres).

Évaluation des risques

Une variété de processus naturels opérant au-delà de l'aire protégée affecteront cette aire protégée et les caractéristiques, formes et processus à l'origine de sa désignation. La détermination de l'impact probable et des options d'intervention est donc un élément important de la gestion. Des évaluations des risques et une hiérarchisation des mesures de gestion devront être entreprises quant à la probabilité et aux effets potentiels, en particulier :

- l'activité tectonique des plaques, telles que les tremblements de terre et autres activités sismiques, les éruptions volcaniques et les coulées de lave, les tsunamis, les glissements de terrain et les coulées de boue ;
- les changements climatiques mondiaux, y compris les phénomènes extrêmes, en particulier dans les zones de montagne, le long des rivières et sur les côtes, les changements dans les régimes de précipitations, l'augmentation de l'imprévisibilité météorologique, l'élévation du niveau de la mer, la fonte des glaciers et le débordement de lacs glaciaires, et la fonte du permafrost.

Il est important d'être réaliste, car dans toutes ces circonstances, certains éléments seront plus vulnérables, et seront perdus ou endommagés, et d'autres changeront radicalement. Il faudra toutefois faire preuve d'un jugement attentif pour s'assurer que la réponse de gestion n'ait pas un effet plus dommageable que le phénomène naturel. Une évaluation systématique des impacts sur le patrimoine géologique, telle qu'entreprise pour le site du Patrimoine mondial de nature sauvage de Tasmanie (Sharples, 2011), permettra de définir des priorités d'action en fonction du risque. Dans le cas des éléments de roche dure, on peut

se demander si une intervention de gestion efficace sera bénéfique ou même faisable. Conformément au principe de conservation de l'espace nécessaire aux processus naturels, la réponse préférée, dans le cas des systèmes géomorphologiques, sera de permettre aux processus naturels d'évoluer sans perturbation, et de gérer les conséquences du changement (par exemple, adapter les limites des sites), plutôt que de tenter de « réparer et contrôler ». Lorsque d'autres intérêts sont menacés, les formes douces d'intervention, ayant un impact minimal sur les caractéristiques des aires protégées, constitueront l'option à privilégier (pour des exemples de gestion fluviale et côtière, respectivement, voir The RRC 2013 ; Scottish Natural Heritage, 2000). Lorsque cela n'est pas possible, la réponse la plus réaliste sera de consigner ou d'archiver des échantillons *ex situ*. Dans le cas de sites géomorphologiques dynamiques, où l'intérêt provient de processus actifs, ou quand l'atténuation des risques pour les visiteurs est impossible, une évaluation plus profonde des risques sera essentielle, de même que la mise en œuvre de mesures appropriées, y compris l'exclusion ou le réacheminement de l'accès des visiteurs et la gestion de leurs attentes.

Gestion des menaces spécifiques au patrimoine géologique dans les aires protégées

Inévitablement, des interactions et des conflits potentiels entre la géoconservation et la conservation culturelle et de la biodiversité se produiront, dans les aires protégées, ainsi que des conflits provenant d'autres activités, en particulier celles cherchant à exploiter, légitimement ou non, les ressources naturelles à des fins humaines (voir tableau 18.1). Certaines des principales menaces seront abordées à tour de rôle, et s'appuieront sur les directives générales fournies ci-dessus.

Exploitation minière

Les interactions avec l'exploitation minière et l'extraction minière de surface et sous la surface sont un problème de longue date. Des dialogues entre la CMAP-UICN et l'industrie minière, représentée par le Conseil international des mines et minéraux (ICMM), ont abouti à un protocole du secteur (ICMM, 2003) et à une déclaration de position de l'UICN pour les sites du Patrimoine mondial (UICN, 2013).

Certains intérêts miniers et certains membres de la CMAP sont toujours d'avis que l'exploitation minière devrait être interdite dans les aires protégées des catégories I à IV de l'UICN, mais pourrait être autorisée dans les aires protégées des catégories V et VI. Cette position a créé des problèmes dans de nombreuses aires de protection paysagères de catégorie V en Europe. Par exemple, l'extraction d'or

dans le parc national du Loch Lomond et des Trossachs, en Écosse, est autorisée, ainsi que l'extraction de pierre dans le parc national de Peak District, en Angleterre. En revanche, une résolution conjointe des peuples autochtones et de la Commission des politiques environnementales, économiques et sociales de l'UICN stipule que l'exploitation minière ne devrait pas être autorisée dans les aires protégées, les sites du Patrimoine mondial, les territoires autochtones et les sites naturels sacrés (voir chapitre 5). Il s'agit d'une question malheureusement non résolue, qui nécessite une attention urgente au sein de l'UICN dans son ensemble. En attendant, une approche prudente est recommandée, afin de s'assurer que les activités minières en cours n'entraînent pas de perte ou de dommages aux intérêts du patrimoine géologique. Pour les nouvelles propositions minières, il est essentiel qu'une évaluation appropriée des risques soit réalisée avant que toute décision ne soit prise. Dans tous les cas, les communautés locales, dont les vies et les moyens de subsistance peuvent être concernés, doivent être pleinement consultées avant toute prise de décision.

Il convient de reconnaître que toutes les activités extractives n'ont pas d'impact négatif sur les intérêts du patrimoine géologique, car de nouvelles expositions offrent la possibilité d'étudier et d'apporter une nouvelle compréhension de l'évolution de la Terre, que ce soit à l'échelle du site ou de façon plus générale. Il faut toutefois veiller à ce que de nouvelles expositions ou des spécimens de valeur ne soient pas perdus du fait de l'impératif commercial d'enlever autant de matériaux que possible, dès que possible. Si l'extraction est autorisée pour un site, des accords juridiquement contraignants devraient être conclus entre les autorités de gestion et les propriétaires des ressources, y compris la mise en place d'obligations financières pour la restauration du site ou le maintien de certaines expositions pour la recherche et l'enseignement dans le cadre d'un plan de restauration. Il sera également utile de définir la quantité de ressource qu'il sera permis d'extraire. Souvent, il sera utile, du point de vue de la diversité géologique, de laisser une partie de la ressource dans le sol, afin de permettre des recherches futures, ainsi qu'à des fins d'enseignement et de démonstration.

Lorsque des demandes d'exploitation minière dans le sous-sol d'une aire protégée sont faites, telles que l'extraction de charbon, de pétrole ou de gaz, y compris la fracturation hydraulique, des évaluations détaillées des effets potentiels de ces exploitations sur les intérêts du patrimoine géologique, c'est à dire les caractéristiques et les formes présentes sur le site, et surtout, les processus qui y sont exploités, devront être entreprises.

L'exploitation minière légale dans les aires protégées reste une question épineuse. Le prélèvement d'une ressource non renouvelable n'est pas durable, peut causer l'effondrement de la surface et peut avoir des impacts plus généraux. Si une

Le parc national du Loch Lomond et des Trossachs en Ecosse, Royaume-Uni (une aire protégée de catégorie V de l'UICN), où les déblais provenant de la mine d'or de Cononish génère des problèmes visuels et de qualité de l'eau, mais fournit également des échantillons pour la recherche

Source : Roger Crofts

approbation est donnée, elle devrait être accompagnée de règlements, y compris d'accords juridiques solides, incluant un suivi de la conformité et de l'application des accords.

L'exploitation minière artisanale, à petite échelle, peut avoir des effets profonds sur les aires protégées, et il faudra prendre soin d'en évaluer les effets potentiels et de définir des solutions. Une méthodologie a été conçue et testée en Afrique, et fournit une boîte à outils de six éléments axés sur l'évaluation de l'ampleur du problème et la collaboration avec les parties prenantes concernées pour identifier des solutions et des approches alternatives (ASM-PACE, 2013).

Une fois une extraction terminée, ou dans des carrières désaffectées depuis longtemps, il est souvent demandé d'utiliser ces sites pour le dépôt de déchets provenant de sources industrielles, résidentielles ou autres. Ce sera particulièrement le cas lorsqu'il existe peu d'alternatives pour le stockage des déchets. Il est alors essentiel que l'importance locale, nationale et internationale des expositions, ainsi que leur valeur à des fins d'enseignement et de recherche, soient évaluées avant de prendre toute décision.

Développement et planification du développement

Le développement d'infrastructures de tous types (transports, commerce, résidentielles, etc.) aura un impact sur la conservation du patrimoine géologique dans les aires protégées.

Les cas les plus sensibles se situeront dans ou à la périphérie des aires protégées existantes, d'où les effets pourront traverser les limites de l'aire protégée. Les principales questions à aborder avant de prendre toute décision sur le développement lui-même, ou avant que les propositions de développement ne soient intégrées dans les plans, consistent à tenir compte de la perte potentielle de caractéristiques et de processus naturels assurant leur conservation.

Les grands développements commerciaux, industriels et résidentiels affecteront les processus naturels et peuvent entraîner la perte permanente d'aires protégées. Des efforts devraient être entrepris pour conserver ces sites au sein des projets de développement, et s'assurer qu'une zone tampon adéquate est définie pour sauvegarder leur intégrité.

Le cuvelage et la canalisation des cours d'eau, ainsi que les travaux de prévention des inondations le long des berges sont, par exemple, trop dommageables pour être autorisés lorsque des processus naturels d'écoulement de l'eau et les caractéristiques et formes qui en résultent constituent la raison de la protection. De même, ces travaux masqueront également les principales expositions protégées le long des rivières et ne devraient pas être autorisés à moins que des expositions de valeur égale puissent être préservées à proximité.

Protection des littoraux

L'exposition de sections le long des côtes peut révéler de nouvelles sources d'information sur l'évolution de la vie sur Terre et sur les processus passés. Les tentatives visant à enrayer l'érosion côtière par la construction de barrières masqueront automatiquement ces intérêts, et la justification du statut d'aire protégée sera perdue.

De nombreux systèmes côtiers naturels sont présents à grande échelle et sont très dynamiques, et leur protection perpétuelle est justifiée. Les projets de prélèvement de matériaux, en particulier de sable, graviers et cailloux à des fins de construction, et l'installation de barrières en bois ou en pierre sur les plages, afin d'enrayer l'écoulement naturel des sédiments, affaibliront inévitablement la justification de protection et devraient être évités.

L'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des tempêtes dans certaines régions du monde font qu'une plus grande protection des côtes développées soit demandée, entraînant la construction de structures d'ingénierie dures, telles que des digues. Celles-ci endommageront irrémédiablement l'intérêt des aires protégées adjacentes. De nouvelles solutions devront être envisagées, telles que permettre au littoral de se retirer naturellement vers l'intérieur des terres et, parallèlement, déplacer les activités de bord de mer vers des sites situés plus à l'intérieur des terres, afin qu'elles soient moins touchées. Lorsque cela n'est

Le réalignement planifié de la côte entre les promontoires rocheux artificiels de Montrose a aidé à maintenir l'approvisionnement en sédiments du site adjacent de St Cyrus et Kinnaber Links, respectivement réserve naturelle nationale et site d'intérêt scientifique spécial, en Écosse, Royaume-Uni

Source : Roger Crofts

pas possible, une alternative peut consister à utiliser des « infrastructures vertes » (par exemple, en stabilisant des îles-barrières existantes en plantant de la végétation naturelle), ou à développer des barres artificielles au niveau ou à proximité du littoral. Il s'agit là de questions difficiles, la protection contre les risques potentiels de perte de propriétés étant susceptible d'être considérée comme plus importante que la perte d'aires protégées. Dans une affaire judiciaire historique en Angleterre, cependant, les principes fondamentaux de la désignation du site et de la géoconservation, y compris permettre aux processus naturels de suivre leur cours, ont été confirmés par les tribunaux sur une côte érodée où des propriétés étaient menacées (Prosser, 2011).

Conservation de la biodiversité

Les interactions entre le patrimoine géologique et la conservation de la biodiversité peuvent être à la fois positives et négatives. Les éléments positifs ont été décrits précédemment dans ce chapitre. Les éléments négatifs doivent être reconnus, et des solutions doivent être identifiées par les gestionnaires d'aires protégées. L'essence de la résolution de ces conflits doit être la reconnaissance des interconnexions entre les éléments biotiques et abiotiques, les processus à l'origine de leur existence et ceux qui les maintiennent. Il est peu probable que l'adoption d'une approche unidimensionnelle favorisant la conservation du patrimoine géologique ou de la biodiversité aboutisse à une résolution bénéfique à la conservation dans son ensemble. Les questions qui devront être abordées sont, par exemple, les suivantes :

- Quelle est la base du conflit entre les intérêts biotiques et abiotiques dans et autour de l'aire protégée ?

- Le conflit peut-il être résolu sans porter atteinte aux deux intérêts, ou s'agit-il d'une question plus fondamentale ?
- Dans ce dernier cas, l'un des intérêts est-il plus important que l'autre, à long terme, pour la conservation de la nature nationale et internationale, et doit-il être sauvegardé et l'autre sacrifié ?

Des questions pratiques devront également être abordées, telles que :

- La croissance de la végétation nuit-elle ou masque-t-elle l'intérêt du patrimoine géologique, et son élimination ou sa limitation nuirait-elle à l'intérêt de la biodiversité ? Sinon, l'intérêt géo-patrimonial devrait-il être retiré hors du site ou devrait-on laisser la végétation le masquer à condition que, si un réexamen à la lumière de nouvelles connaissances est justifié, il puisse être périodiquement exposé à nouveau ?
- Les processus terrestres actuels (par exemple, fonte des glaciers ou érosion des rivières) importants pour maintenir l'intérêt du patrimoine géologique ont-ils un effet néfaste sur l'intérêt de la biodiversité ? Dans l'affirmative, une manipulation des processus à effet minime sur leur structure naturelle peut-elle être entreprise pour obtenir des avantages en matière de conservation de la biodiversité ?

Parfois, il ne sera pas possible de parvenir à une solution au niveau de l'aire protégée, et le contexte plus général de l'habitat, de l'écosystème ou du biome devra être pris en considération pour déterminer les mérites relatifs de la conservation d'un élément dans un endroit, et de l'autre dans un autre, au sein de l'unité biogéographique.

Enfin, il est important de décourager les tentatives visant à maximiser la diversité des habitats et des espèces par des modifications du paysage entraînant la création de reliefs et de paysages incongrus, par exemple, en élevant la surface du sol par remplissage dans les zones à topographie plate, ou en créant des étangs aux formes atypiques par rapport aux caractéristiques naturelles locales (Gray, 2013).

Éducation et interprétation du patrimoine géologique

Parallèlement à la protection et à la gestion des sites, la sensibilisation et la participation au moyen de l'éducation et l'interprétation sont un élément clé de la géoconservation. Le but devrait être d'informer et de divertir, ainsi que d'éduquer, comme reconnu dans l'aspiration clairvoyante de James Hutton (1785) que l'étude de la Terre « peut permettre, à la fois, à l'esprit humain de s'informer et de se divertir ». L'éducation couvre un large éventail de méthodes, de l'apprentissage à l'éducation didactique formelle, en passant par des méthodes informelles, telles que l'expérience fournie par l'interprétation. Elle touche également un large éventail de publics, de ceux souhaitant simplement « être là », à ceux ayant un objectif principal de recherche active d'éducation.

Une grande partie de l'interprétation classique du patrimoine géologique vise un large secteur se situant au centre de tout cela. Une géoconservation efficace dépendra, en fin de compte, d'une meilleure sensibilisation, compréhension et soutien du public.

L'interprétation de la diversité géologique et le tourisme basé sur la géologie (géo-tourisme) ne sont pas nouveaux, comme en témoigne l'attrait et l'intérêt culturel de longue date pour les grottes, les glaciers, les montagnes sacrées et autres

merveilles naturelles. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, les gens se sont liés au paysage physique de manière expérientielle, et les caractéristiques naturelles, les lieux et les événements passés ont inspiré un sentiment d'émerveillement à travers des liens avec le paysage dans la littérature, la poésie, l'art et le tourisme. L'interprétation géologique traditionnelle, cependant, s'est basée sur une approche didactique fournissant de l'information plutôt que de l'interprétation, les géologues utilisant des tableaux explicatifs et des dépliants. Le problème fut que ceux-ci n'étaient pas adaptés aux besoins des visiteurs, étaient trop détaillés et utilisaient un langage beaucoup trop technique, de sorte que l'utilisateur général ne pouvait pas les comprendre. Malheureusement, on ne connaît que trop d'exemples de cette approche. Des leçons pourraient être tirées des approches adoptées par les peuples autochtones et les communautés locales traditionnelles, qui ont vécu et interprété les paysages ou les éléments de paysage (terrestres ou marins) de différentes manières. Ils les ont intégrés à leur vie quotidienne, leur accordant souvent une signification spirituelle, culturelle et autre, et les utilisant souvent pour des fonctions vitales et écologiques (par exemple, Cruikshank, 2005).

Des développements récents ont misé sur une approche plus expérientielle de la géo-interprétation, englobant la dimension culturelle de la diversité géologique, et aboutissant à une communication plus efficace, grâce à des partenariats (encadré 18.4) et à la production de matériaux plus appropriés, présentés de manière stimulante à partir de toute une gamme de médias, et basés sur les meilleures pratiques d'interprétation et des principes éducatifs solides (par exemple, Tilden, 1977 ; Ham 1992, 2007 ; Veverka, 1994 ; Brown, 2004 ; Scottish Natural Heritage, 2011). Les gestionnaires d'aires protégées peuvent tirer des enseignements de ces meilleures pratiques en matière d'interprétation et de promotion du patrimoine géologique de manière durable. Ces approches novatrices incluent une interprétation plus intégrée, reliant, par exemple, la géologie, le paysage, le patrimoine culturel et l'archéologie industrielle. L'initiative Géoparcs, soutenue par l'UNESCO, s'est imposée comme un moteur important d'innovation en matière de géo-interprétation, y compris grâce à un programme visant à mobiliser un public large et varié par la promotion du géo-tourisme et de ses activités connexes (encadré 18.5).

Suivi et évaluation

La mesure et le suivi des conditions des aires protégées du patrimoine géologique sont essentiels pour définir leurs conditions actuelles et l'évolution de ces conditions. Le Service des parcs nationaux des États-Unis a établi des lignes directrices pour le suivi des ressources géologiques et paléontologiques (Santucci et Koch, 2003 ; Santucci et al., 2009). De même, la Commission géologique espagnole

Encadré 18.4 Journée nationale des fossiles, États-Unis

En 2010, la Journée nationale des fossiles a été créée, aux États-Unis, comme un partenariat éducatif visant à promouvoir les valeurs scientifiques et éducatives des fossiles. Près de 300 partenaires, dont des musées, des organisations professionnelles de scientifiques et d'enseignants, des groupes d'amateurs de paléontologie, des sites fossiles, des universités, des bibliothèques et autres, répartis sur la totalité des 50 États, proposent des activités éducatives et de sensibilisation sur les fossiles aux enfants et aux familles, à l'échelle locale. La Journée nationale des fossiles est devenue une fête nationale aux États-Unis, et se déroule la deuxième semaine d'octobre, pendant la Semaine des sciences de la Terre.

Source : National Park Service (2014a)

développe actuellement un système d'indicateurs visant à évaluer et suivre l'état de conservation du patrimoine géologique (García-Cortés et al., 2012).

En Grande-Bretagne, des protocoles sont en place pour le suivi du SSSI, le système national de base d'aires protégées pour les intérêts abiotiques et biotiques (Ellis, 2004). La composante géomorphologique se base en partie sur les travaux de Werritty et al. (1998), qui fournissent un

cadre conceptuel et méthodologique pour le suivi des caractéristiques et des systèmes géomorphologiques. Les principaux attributs mesurés, et les cibles basées sur la classification du tableau 18.6, sont les suivants :

1. attributs de l'aire protégée sur lesquels porte le suivi :

- « visibilité » : les facteurs suivis seront l'absence de dissimulation par la végétation, dans le sol, par l'accumulation de talus ou par des constructions d'ingénierie ;
- qualité de l'apparence ou absence de perturbation de la structure interne des éléments : état physique de la roche, des sédiments, du relief, du terroir (par exemple, absence de perturbation visible des sédiments dans un relief), absence de fragmentation de l'exposition, aucun dommage physique à des parties importantes de parois rocheuses, piles et reliefs de sédiments, etc. Qualité et visibilité sont intimement liées ;
- étendue des caractéristiques : par exemple, quantité de matériaux géologiques, tels que le volume de matériaux de déblais importants dans un décharge minière, ou surface de paroi rocheuse dans un site d'exposition où il est avantageux d'avoir une plus grande quantité d'exposition rocheuse à étudier ;
- dynamique du processus : possibilité, pour les processus géomorphologiques, d'évoluer naturellement et sans entrave.

Mt. Baker: A Furnace Encased in Ice

Mt. Baker's massive glacial beauty seems serene, cold, and changeless. Yet, deep within the volcano's icy shell, a furnace burns. Blistering heat melts rocks into cauldrons of churning magma. Seething with compressed gases, the buoyant magma slowly rises. When this explosive mass blasts through the surface, glaciers vaporize in minutes, and hot mud races down the valleys. Ash billows miles into the sky, and red-hot lava rivers run from the crater. This reshaping of the land sets the stage for new life.

Mt. Baker's most recent lava flows are less than 9,000 years old. American Indians and early European settlers witnessed ash eruptions in the 1800's. In 1975, volcanic steam melted ice fields, forming a lake in Sherman Crater. For the moment, the volcano's fires only smolder. Occasionally, steam plumes rise from the crater, reminding us that Mt. Baker is an active volcano like Mount St. Helens.

Le mont Baker, dans le parc national de North Cascades, État de Washington, États-Unis : panneau facilement compréhensible permettant d'interpréter l'évolution géologique du paysage

Source : Roger Crofts

Encadré 18.5 Géoparcs et géo-tourisme

La raison d'être des géoparcs est de promouvoir la conservation du patrimoine géologique, ainsi qu'un développement économique et social durable, grâce à la compréhension et à l'expérience des liens entre la géologie, le patrimoine naturel et le patrimoine culturel. La plupart des géoparcs mettent l'accent sur les liens entre l'évolution géologique du paysage, la biodiversité, les modes de vie et traditions culturelles des populations, et la protection et utilisation des ressources géologiques, grâce au développement du tourisme durable et en lien avec l'éducation, l'apprentissage tout au long de la vie, des services de guides, et des initiatives plus générales de protection de l'environnement, comme par exemple à Jeju en Corée, dans les géoparcs des Îles Oki et San'in Kaigan au Japon, ou dans les géoparcs de Stone Forest (Shilin) et Sanqingshan en Chine. Beaucoup ont développé une interprétation innovante reliant ces différents thèmes à travers le fil conducteur de la géologie. Par exemple, le géoparc de Katla, dans le sud de l'Islande, a développé une interprétation innovante, intégrant les histoires géologiques et culturelles de la région à partir de sentiers et de panneaux sur site, d'outils numériques, et d'expositions et installations novatrices conçues pour stimuler l'intérêt des personnes plutôt que de simplement présenter des informations, et

impliquant également les écoles locales de façon créative (Katla Geopark, 2014). Le parc national de North Cascades, dans l'État de Washington, aux États-Unis, quant à lui, dispose de panneaux d'interprétation informatifs sur les sentiers à propos des zones de subduction, ainsi que d'autres, plus évocateurs, reproduisant la prose poétique de John Muir, par exemple (National Park Service, 2014b). Une telle exploration du patrimoine géologique peut permettre aux gestionnaires d'aires protégées de :

1. aider les populations locales et les visiteurs à (re) découvrir un sentiment d'émerveillement face au patrimoine géologique et ses liens avec les racines culturelles et le sentiment d'appartenance à un lieu ;
2. offrir des possibilités pour les personnes de s'impliquer de façon créative, et d'apprécier le patrimoine géologique à travers différentes expériences culturelles ;
3. promouvoir une compréhension plus holistique du monde naturel.

Pour plus d'informations et des études de cas sur le géo-tourisme, voir Dowling et Newsome (2010) et Newsome et Dowling (2010).

Zone de services du Old Faithful, dans le parc national du Yellowstone, États-Unis, incluant des installations destinées aux visiteurs compatibles avec la conservation des sources chaudes géothermiques

Source : Roger Crofts

2. indicateurs clés de conditions de conservation favorables :

- les éléments de relief demeurent non dissimulés ;
- la composition physique, la morphologie et la structure interne des principaux reliefs et sédiments restent intactes et non perturbées par des interventions anthropiques ;
- l'étendue des principales caractéristiques géomorphologiques n'est pas diminuée par des dommages physiques ou une fragmentation ;
- les processus géomorphologiques naturels sont sans entrave : les niveaux d'activité des processus géomorphologiques et leurs caractéristiques spatiales conservent la capacité de fonctionner sur toute leur gamme de variabilité naturelle ;
- l'exposition géologique reste non dissimulée, intacte et non modifiée par l'intervention anthropique ;
- l'étendue des principales caractéristiques géologiques n'a pas diminué : l'étendue verticale et latérale des caractéristiques est constante ou croissante (Ellis, 2004).

Le gouvernement de Tasmanie a élaboré une approche largement similaire, basée sur trois grandes catégories d'indicateurs de géoconservation :

- des indicateurs de couverture des données reflètent l'état des connaissances sur la diversité géologique, qui régit notre capacité à assurer sa conservation ;
- des indicateurs d'intégrité des sites s'appliquent aux sites présentant une importance particulière pour la géoconservation, et pour lesquels le degré d'intégrité physique (ou de dégradation) des sites et

des caractéristiques a été identifié (par exemple, dans la *Base de données de géoconservation de Tasmanie*)

- des indicateurs d'intégrité des processus mesurent le degré d'intégrité ou de dégradation des processus géomorphologiques et de formation des sols : ces processus régissent l'intégrité à long terme des sites, des caractéristiques et des systèmes importants pour la géoconservation, et l'intégrité des processus écosystémiques en général. Les indicateurs d'intégrité des processus fourniront une mesure de la durabilité des processus naturels de formation du relief et des sols (RPDC, 2013).

Expertise nécessaire en géoconservation et opportunités pour la gestion des aires protégées

La variété des aires protégées du patrimoine géologique et la quantité et variété des connaissances requises pour les identifier et les gérer efficacement impliquent un grand besoin d'expertise spécialisée en géoconservation. Des connaissances scientifiques en géologie et géomorphologie seront essentielles pour que les aires protégées soient clairement identifiées et placées dans des systèmes plus généraux de patrimoine terrestre, et pour que les réseaux de sites restent pertinents en fonction des nouvelles connaissances et interprétations. La sécurité des travailleurs et des visiteurs est une préoccupation primordiale dans les aires protégées de géoconservation, de sorte qu'une expertise en matière d'évaluation des risques et de prescriptions de gestion est essentielle. Prévoir les effets des inondations, des tsunamis, des tremblements de terre, des éruptions volcaniques et des sites géothermiques actifs, des ruptures

de pente, de l'instabilité des falaises, de la fonte des glaciers et du permafrost, et y faire face sont autant d'exemples de ce besoin de connaissances techniques. Il devrait être possible d'employer des experts locaux pour ces emplois spécialisés, et de veiller à ce que les connaissances locales et traditionnelles soient exploitées au mieux.

La gestion de certains types d'aires protégées du patrimoine géologique, telles que les sites à patrimoine meuble (fossiles, minéraux) ou à processus actifs (zones côtières, rivières, etc.), est nécessaire pour garantir le maintien des valeurs clés, et s'assurer que des actions ou des changements externes n'affectent pas négativement les caractéristiques et les processus clés. La capacité de communiquer l'importance des caractéristiques et des processus des aires protégées d'une manière motivantes et que le public puisse comprendre est également une exigence importante du personnel spécialisé.

Les équipes de gestion des aires protégées devraient progressivement intégrer une expertise en sciences de la Terre, afin de parvenir à une approche intégrée de la conservation de la nature. Le regroupement en équipes de spécialistes du patrimoine géologique, biologique et culturel contribuera à assurer la pleine compréhension et la conservation des ressources naturelles (Díaz-Martínez et Díez-Herrero, 2011).

Conclusion

La diversité géologique de la Terre est une considération essentielle à la gestion des aires protégées, en particulier dans le contexte de la gestion de la nature, à la fois abiotique et biotique. Le patrimoine géologique est constitué par des éléments de la diversité géologique présentant des valeurs scientifiques, éducatives, culturelles ou esthétiques significatives. Ce patrimoine géologique spécial peut être systématiquement classé selon les étapes clés de l'histoire de la Terre, ses caractéristiques structurales, la formation de minéraux, l'évolution de la vie, les processus terrestres, les caractéristiques de surface et de sous-sols et les registres de conditions environnementales passées (tableau 18.2). Les exemples clés de phénomènes du patrimoine géologique doivent être protégés, comme dans les géoparcs, en tant qu'aires protégées de catégorie III, ou autres catégories d'aires protégées de l'UICN. Une fois établies, les gestionnaires de ces aires protégées devront intervenir activement pour faire face à des menaces telles que l'exploitation minière et le développement d'infrastructures. Les réponses à ces menaces incluent la planification et les interventions de terrain, tandis qu'une série de principes directeurs de gestion (encadré 18.3) définiront le cadre de telles actions. Comme pour d'autres phénomènes naturels, le suivi des conditions et les tendances de ces conditions font partie intégrante de la gestion active.

Un spectaculaire gisement massif de fossiles d'*ammonites* du Jurassique (souvent appelé cimetière d'*ammonites*) est exposé sur un rebord côtier résistant à l'érosion près de Lyme Regis, Jurassic Coast, Dorset et East Devon, en Angleterre. Ce site est un Site d'intérêt scientifique particulier. Les *Ammonites* fossiles circulaires peuvent être observées, tout comme leur emplacement sur la plateforme, identifié par les multiples flaques d'eau circulaires qui montrent les fossiles sélectivement érodés

Source : Graeme L. Worboys

Références

Lectures recommandées

- Anderson, M. G. et Ferree, C. E. (2010) 'Conserving the stage: climate change and the geophysical underpinnings of species diversity', *PLoS ONE* 5(7): e11554.
- ASM-PACE (2013) *Projects*. <www.asm-pace.org/projects.html>
- Baretino, D., Wimbledon, W. A. P. et Gallego, E. (eds) (2000) *Geological Heritage: Its conservation and management*, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid. <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/Baretino%20et%20al%202000%20-%20ProGEO%20Symposium%20Madrid%201999%20EN.pdf> [anglais] et <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/Baretino%20et%20al%202000%20-%20ProGEO%20Symposium%20Madrid%201999%20ES.pdf> [espagnol].
- Bridgland, D. R. (2013) 'Geoconservation of Quaternary sites and interests', *Proceedings of the Geologists' Association* 124: 612–24.
- Brilha, J. (2002) 'Geoconservation and protected areas', *Environmental Conservation* 29(3): 273–6.
- Brilha, J. (2005) *Património Geológico e Geoconservação [Geoheritage and Geoconservation]*, [en portugais], Palimage, Braga. <geoduma.files.wordpress.com/2010/02/jb_livro.pdf>
- Brilha, J., Andrade, C., Azerêdo, A., Barriga, F. J. A. S., Cachão, M., Couto, H., Cunha, P. P., Crispim, J. A., Dantas, P., Duarte, L. V., Freitas, M. C., Granja, M. H., Henriques, M. H., Henriques, P., Lopes, L., Madeira, J., Matos, J. M. X., Noronha, F., Pais, J., Piçarra, J., Ramalho, M. M., Relvas, J. M. R. S., Ribeiro, A., Santos, A., Santos, V. et Terrinha, P. (2005) 'Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation', *Episodes* 28: 177–86.
- Brocx, M. (2008) *Geoheritage: From global perspectives to local principles for conservation and planning*, Western Australian Museum, Perth.
- Brocx, M. et Semeniuk, V. (2007) 'Geoheritage and geoconservation—history, definition, scope and scale', *Journal of the Royal Society of Western Australia* 90: 53–87.
- Brocx, M. et Semeniuk, V. (2011) 'The global geoheritage significance of the Kimberley coast, Western Australia', *Journal of the Royal Society of Western Australia* 94: 57–88.
- Brooks, A. J. (2013) *Assessing the sensitivity of geodiversity features in Scotland's seas to pressures associated with human activities*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 590, Inverness, Écosse. <www.snh.gov.uk/publications-data-and-research/publications/search-the-catalogue/publication-detail/?id=2036>
- Brooks, A. J., Kenyon, N. H., Leslie, A., Long, D. et Gordon, J. E. (2013) *Characterising Scotland's marine environment to define search locations for new marine protected areas. Part 2: The identification of key geodiversity areas in Scottish waters*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 432, Inverness, Écosse. <www.snh.gov.uk/publications-data-and-research/publications/search-the-catalogue/publication-detail/?id=2037>
- Brown, E. J. (2004) *Development of a framework for interpreting ice age landscapes in the Loch Lomond and The Trossachs National Park*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 036, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/commissioned_reports/f98ac106a.pdf>
- Bruschi, V. M., Cendrero, A. et Cuesta Albertos, J. A. (2011) 'A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures', *Geoheritage* 3: 131–49.
- Burek, C. V. (2012) 'The role of LGAPs (Local Geodiversity Action Plans) and Welsh RIGS as local drivers for geoconservation within geotourism in Wales', *Geoheritage* 4: 45–63.
- Burek, C. et Potter, J. (2006) *Local Geodiversity Action Plans—setting the context for geological conservation*, Natural England Report No. 560, Natural England, Sheffield. <publications.naturalengland.org.uk/publication/137007?category=30050>
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez, A. et Vegas, J. (2012) *Geodiversidad y Patrimonio Geológico [Geodiversity and Geological Heritage]*, [in Spanish], 2nd edn, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. <www.igme.es/patrimonio/novedades/Folleto_Patrimonio2edicion.pdf>

- Carcavilla, L., Durán, J. J. et López-Martínez, J. (2008) 'Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico [Geodiversity: concept and relationship with geological heritage]', [en espagnol], *Geo-Temas* 10: 1299–303. <www.igme.es/patrimonio/descargas/concepto_Geodiversidad.pdf>
- Carcavilla, L., López-Martínez, J. et Durán, J. J. (2007) *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos [Geoheritage and Geodiversity: Assessment, conservation, management and relationship with protected areas]*, [en espagnol], Cuadernos del Museo Geominero Volume 7, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Coratza, P. et Panizza, M. (eds) (2009) 'Geomorphology and cultural heritage', *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 87.
- Crofts, R. et Gordon, J.E. (2014) 'Geoheritage conservation in protected areas', *Parks* 20(2): 61–76.
- Cruikshank, J. (2005) *Do Glaciers Listen? Local knowledge, colonial encounters, and social imagination*, University of British Columbia Press, Vancouver, et University of Washington Press, Seattle.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) (2006) *Local Sites: Guidance on their identification, selection and management*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres. <archive.defra.gov.uk/rural/documents/protected/localsites.pdf>
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) (2010) *Charting Progress 2. The state of UK seas*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres. <chartingprogress.defra.gov.uk>
- Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment (DPIPWE) (2014) *Tasmanian Geoconservation Database*, Tasmanian Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment, Hobart. <dpipwe.tas.gov.au/conservation/geoconservation/tasmanian-geoconservation-database>
- Díaz-Martínez, E. (2011) Typology of heritage: where does geoheritage fit in?, Forum GeoReg, Villeneuve d'Ascq, France, 23–27 October 2011, 'Résumés/Abstracts': 102. <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/D%C3%ADaz-Mart%C3%ADnez%202011%20-%20Typology%20of%20geoheritage%20-%20GeoReg%20&%20SW-ProGEO%20Meeting.pdf>
- Díaz-Martínez, E. et Díez-Herrero, A. (2011) 'Los elementos biológicos y culturales de interés geológico: un patrimonio a conservar [Biological and cultural elements with geological interest: a heritage for conservation]', [en espagnol], in E. Fernández-Martínez and R. Castaño de Luis (eds) *Avances y Retos en la Conservación del Patrimonio Geológico en España [Advances and Challenges in the Conservation of Geoheritage in Spain]*, pp. 85–90, Université de León, León. <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/D%C3%ADaz-Mart%C3%ADnez%20y%20D%C3%ADez-Herrero%202011%20-%20Elementos%20biol%C3%B3gicos%20y%20culturales%20de%20inter%C3%A9s%20geol%C3%B3gico.pdf>
- Dingwall, P., Weighell, T. et Badman, T. (2005) *Geological World Heritage: A global framework. A contribution to the Global Theme Study of World Heritage Natural Sites*, IUCN, Gland.
- Dobbie, K. E., Bruneau, P. M. C. et Towers, W. (eds) (2011) *The State of Scotland's Soil*, Natural Scotland, Edinburgh. <www.sepa.org.uk/land/land_publications.aspx>
- Dolan, M. F. J., Buhl-Mortensen, P., Thorsnes, T., Buhl-Mortensen, L., Bellec, V. et Bøe, R. (2009) 'Developing seabed nature-type maps offshore Norway: initial results from the MAREANO programme', *Norwegian Journal of Geology* 89: 17–28.
- Dowling, R. K. et Newsome, D. (eds) (2010) *Global Geotourism Perspectives*, Goodfellow Publishers, Oxford.
- Dudley, N. (ed.) (2008) *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*, IUCN, Gland.
- Durán, J. J., Brusi, D., Pallí, L., López-Martínez, J., Palacio, J. et Vallejo, E. (1998) 'Geología ecológica, geodiversidad, geoconservación y patrimonio geológico: la Declaración de Girona [Ecological geology, geodiversity, geoconservation and geological heritage: the Declaration of Girona]', [en espagnol], in J. J. Durán and M. Vallejo (eds) *Comunicaciones de la IV Reunión Nacional de Patrimonio Geológico [Proceedings of the 4th National Meeting on Geoheritage]*, pp. 69–72, Geological Society of Spain, Miraflores de la Sierra.
- Ellis, N. (2004) *Common Standards Monitoring Guidance for Earth Science Sites*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, Royaume-Uni. <jncc.defra.gov.uk/pdf/CSM_earth_science.pdf>

- Ellis, N. (2011) 'The Geological Conservation Review (GCR) in Great Britain: rationale and methods', *Proceedings of the Geologists' Association* 122: 353–62.
- English Nature (2004) *Local Geodiversity Action Plans. Sharing good practice*, Natural England, Peterborough, Royaume Uni. <publications.naturalengland.org.uk/publication/76016?category=30050>
- Erikstad, L. (2012) 'Geoheritage and geodiversity management—the questions for tomorrow', *Proceedings of the Geologists' Association* 122: 713–19.
- Erikstad, L., Lindblom, I., Jerpåsen, G., Hanssen, M. A., Bekkby, T., Stabbetorp, O. et Bakkestuen, V. (2008) 'Environmental value assessment in a multidisciplinary EIA setting', *Environment Impact Assessment Review* 28: 131–43.
- Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P. et Iliopoulos, G. (2011) 'Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management', *Geoheritage* 4: 177–93.
- Ferrero, E., Giardino, M., Lozar, F., Giordano, E., Belluso, E. et Perotti, L. (2012) 'Geodiversity action plans for the enhancement of geoheritage in the Piemonte region (north-western Italy)', *Annals of Geophysics* 55: 487–95.
- Fuertes-Gutiérrez, I. et Fernández-Martínez, E. (2010) 'Geosites inventory in the Leon Province (northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management', *Geoheritage* 2: 57–75.
- García-Cortés, A., Águeda Villar, J., Palacio Suárez-Valgrande, J. et Salvador González, C. I. (eds) (2009) *Spanish Geological Frameworks and Geosites. An approach to Spanish geological heritage of international relevance*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. <www.igme.es/patrimonio/GEOSITES/publication.htm>
- García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., Barnolas, A. et Durán, J. J. (2001) 'First Spanish contribution to the Geosites Project: list of the geological frameworks established by consensus', *Episodes* 24: 79–92.
- García-Cortés, A., Vegas, J., Carcavilla, L. et Díaz-Martínez, E. (2012) 'Un sistema de indicadores para la evaluación y seguimiento del estado de conservación del patrimonio geológico [An indicator system to assess and follow up the state of conservation of geological heritage]', *Geo-Temas* 13: 1272–5. <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/García%20Cortés%20et%20al%202012%20-%20Sistema%20de%20indicadores%20para%20estado%20conservación%20PG.pdf>
- Geological Society of America (GSA) (2012) *GSA Position Statement: Geoheritage*, Boulder, CO. <www.geosociety.org/positions/pos20_Geoheritage.pdf>
- Gillson, L. et Marchant, R. (2014) 'From myopia to clarity: sharpening the focus of ecosystem management through the lens of palaeoecology', *Trends in Ecology and Evolution* 29: 317–25.
- Gordon, J. E. et Barron, H. F. (2011) *Scotland's geodiversity: development of the basis for a national framework*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 417, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/commissioned_reports/417.pdf>
- Gordon, J. E., Barron, H. F., Hansom, J. D. et Thomas, M. F. (2012) 'Engaging with geodiversity—why it matters', *Proceedings of the Geologists' Association* 123: 1–6.
- Gordon, J. E., Brooks, A. J., Rennie, A. G., James, B. D., Chaniotis, P. D., Kenyon, N. H., Leslie, A. B. et Long, D. (2013) *The selection of Nature Conservation Marine Protected Areas (MPAs)—assessment of geodiversity interests*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 633, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/commissioned_reports/633.pdf>
- Gray, M. (2004) *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*, Wiley, Chichester, Royaume-Uni. <geoduma.files.wordpress.com/2010/02/geodiversity.pdf>
- Gray, M. (2008) 'Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm', in C. V. Burek et C. D. Prosser (eds) *The History of Geoconservation*, Special Publications 300, pp. 31–6, The Geological Society, Londres.
- Gray, M. (2011) 'GSSPs: the case for a third, internationally recognised, geoconservation network', *Geoheritage* 3: 83–8.

- Gray, M. (2013) *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*, 2nd edn, Wiley-Blackwell, Chichester, Royaume-Uni.
- Gray, M., Gordon, J. E. et Brown, E. J. (2013) 'Geodiversity and the ecosystem approach—the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management', *Proceedings of the Geologists' Association* 124: 659–73.
- Ham, S. (1992) *Environmental Interpretation: A practical guide for people with big ideas and small budgets*, North America Press, Golden, CO.
- Ham, S. (2007) 'From interpretation to protection', *Interpretation Journal* 12(3): 20–3. <www.ahi.org.uk/include/pdf/TVSpapers/AHI_journal_The_Vital_Spark.pdf>
- Haygarth, P. M. et Ritz, K. (2009) 'The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services', *Land Use Policy* 26S: S187–97.
- Hopkins, J. J., Allison, H. M., Walmsley, C. A., Gaywood, M. et Thurgate, G. (2007) *Conserving Biodiversity in a Changing Climate: Guidance on building capacity to adapt*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres. <webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110303145213/http://ukbap.org.uk/Library/BRIG/CBCCGuidance.pdf>
- Houshold, I. et Sharples, C. (2008) 'Geodiversity in the wilderness: a brief history of geoconservation in Tasmania', in C. V. Burek et C. D. Prosser (eds) *The History of Geoconservation*, Special Publications 300, pp. 257–72, The Geological Society, Londres.
- Hutton, J. (1785) *Abstract of a Dissertation Read in the Royal Society of Edinburgh, upon the Seventh of March, and Fourth of April, MDCCLXXXV, Concerning the System of the Earth, its Duration, and Stability*, Edinburgh. <facstaff.gpc.edu/~janderso/historic/hutton.htm>
- International Council on Mining and Minerals (ICMM) (2003) *Mining and Protected Areas: Position statement*, London. <www.icmm.com/document/43>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2008) *Resolutions and Recommendations adopted at the 4th IUCN World Conservation Congress. Resolution 4 040: Conservation of geodiversity and geological heritage*, IUCN, Gland. <<https://portals.iucn.org/library/node/44190>>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2012) *Resolutions and Recommendations, World Conservation Congress, Jeju, Republic of Korea, 6–15 September 2012, WCC-2012-Res-048-EN Valuing and conserving geoheritage within the IUCN Programme 2013–2016*, IUCN, Gland, pp. 5–6. <<https://portals.iucn.org/library/node/44015>>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2013) *IUCN World Heritage Advice Note: Mining and oil/gas projects*, IUCN, Gland. <cmsdata.iucn.org/downloads/iucn_advice_note_on_mining_in_wh_sites_final_060512_.pdf>
- Johansson, C. E. (ed.) (2000) *Geodiversitet i Nordisk Naturvård [Geodiversity in Nordic Nature Management; in Swedish]*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Joyce, E. B. (2010) 'Australia's geoheritage: history of study, a new inventory of geosites and applications to geotourism and geoparks', *Geoheritage* 2: 39–56.
- Katla Geopark (2014) *Katla Geopark*. <www.katlageopark.is/>
- Kiernan, K. (1996) *Conserving Geodiversity and Geoheritage: The conservation of glacial landforms*, Forest Practices Unit, Hobart.
- Kirkbride, V. et Gordon, J. E. (2010) *The geomorphological heritage of the Cairngorm Mountains*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 348, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/commissioned_reports/348.pdf>
- Lawrence, D. J. D., Arkley, S. L. B., Everest, J. D., Clarke, S. M., Millward, D., Hyslop, E. K., Thompson, G. L. et Young B. (2007) *Northumberland National Park Geodiversity Audit and Action Plan*, British Geological Survey Commissioned Report No. CR/07/037N, Hexham, UK. <www.northumberlandnationalpark.org.uk/data/assets/pdf_file/0005/147524/geodiversity_audit_hi.pdf>
- Lawrence, D. J. D., Vye, C. L. et Young, B. (2004) *Durham Geodiversity Audit*, Durham County Council, Durham, Royaume-Uni. <content.durham.gov.uk/PDFRepository/County_Durham_Geodiversity_Audit.pdf>
- Lima, F., Brilha, J. et Salamuni, E. (2010) 'Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil', *Geoheritage* 2: 91–9.

- Lockwood, M., Worboys, G. L. et Kothari, A. (eds) (2006) *Managing Protected Areas: A global guide*, Earthscan, Londres.
- McKeever, P. J., Zouros, N. et Patzak, M. (2010) 'The UNESCO Global Geoparks Network', *European Geoparks Magazine* 7: 10–13. <www.scribd.com/doc/80356479/EGN-Magazine-Issue-7>
- Matthews, T. J. (2014) 'Integrating geoconservation and biodiversity conservation: theoretical foundations and conservation recommendations in a European Union context', *Geoheritage* 6: 57–70.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.
- National Museums Northern Ireland (2003) *Geological Sites in Northern Ireland: Earth science conservation review*, Holywood. <www.habitas.org.uk/escr/index.html>
- National Park Service (NPS) (2014a) *National Fossil Day*, National Park Service, Washington, DC. <nature.nps.gov/geology/nationalfossilday/>
- National Park Service (NPS) (2014b) *North Cascades*, National Park Service, Washington, DC. <www.nps.gov/noca/index.htm>
- Natural England (2014) *Geology and Geodiversity*, Natural England, Peterborough, Royaume-Uni. <<http://publications.naturalengland.org.uk/category/30050>>
- Newsome, D. et Dowling, R. K. (eds) (2010) *Geotourism: The tourism of geology and landscape*, Goodfellow Publishers, Oxford.
- Nieto, L. M. (2001) 'Geodiversidad: propuesta de una definición integradora [Geodiversity: proposal of an integrative definition]', [en espagnol], *Boletín Geológico y Minero* 112(2): 3–12.
- Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing (2012) *Land Use Planning: The Oak Ridges Moraine*. <www.mah.gov.on.ca/Page322.aspx>
- Panizza, M. (2001) 'Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey', *Chinese Science Bulletin* 46: 4–6.
- Pellitero, R., González-Amuchastegui, M. J., Ruiz-Flaño, P. et Serrano, E. (2011) 'Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a natural protected area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain)', *Geoheritage* 3: 163–74.
- Pereira, P., Pereira, D. et Caetano Alves, M. I. (2007) 'Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park', *Geographica Helvetica* 62: 159–68. Supplement.
- ProGEO (2011) *Conserving Our Shared Geoheritage: A protocol on geoconservation principles, sustainable site use, management, fieldwork, fossil and mineral collecting*, European Association for the Conservation of the Geological Heritage, Uppsala, Suède. <www.progeo.se/progeo-protocol-definitions-20110915.pdf>
- Prosser, C. D. (2011) 'Principles and practice of geoconservation: lessons and case law arising from a legal challenge to site-based conservation on an eroding coast in eastern England, UK', *Geoheritage* 3: 277–87.
- Prosser, C. D. (2013) 'Our rich and varied geoconservation portfolio: The foundation for the future', *Proceedings of the Geologists' Association* 124: 568–80.
- Prosser, C. D., Burek, C. V., Evans, D. H., Gordon, J. E., Kirkbride, V. B., Rennie, A. F. et Walmsley, C. A. (2010) 'Conserving geodiversity sites in a changing climate: management challenges and responses', *Geoheritage* 2: 123–36.
- Prosser, C., Murphy, M. et Larwood, J. (2006) *Geological Conservation: A guide to good practice*, Natural England, Peterborough, Royaume-Uni. <publications.naturalengland.org.uk/publication/83048>
- Resource Planning and Development Commission (RPDC) (2013) 'Land, geodiversity and geoconservation', in *State of the Environment Report: Tasmania*, Hobart. <soer.justice.tas.gov.au/2003/lan/2/issue/77/index.php#zmanagement>
- Reynard, E. (2009a) 'The assessment of geomorphosites', in E. Reynard, P. Coratza et G. Regolini-Bissig (eds) *Geomorphosites*, pp. 63–71, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich.

- Reynard, E. (2009b) 'Geomorphosites: definitions and characteristics', in E. Reynard, P. Coratza et G. Regolini-Bissig (eds) *Geomorphosites*, pp. 9–20, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich.
- Reynard, E., Coratza, P. et Regolini-Bissig, G. (eds) (2009) *Geomorphosites*, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich.
- Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L. et Scapozza, C. (2007) 'A method for assessing "scientific" and "additional values" of geomorphosites', *Geographica Helvetica* 62: 148–58.
- Rovere, A., Vacchi, M., Parravicini, V., Bianchi, C. N., Zouros, N. et Firpo, M. (2011) 'Bringing geoheritage underwater: definitions, methods, and application in two Mediterranean marine areas', *Environmental Earth Sciences* 64: 133–42.
- Santucci, V. L. (2005) 'Historical perspectives on biodiversity and geodiversity', *George Wright Forum* 22(3): 29–34.
- Santucci, V. L. et Koch, A. L. (2003) 'Paleontological resource monitoring strategies for the National Park Service', *Park Science* 22(1): 22–5.
- Santucci, V. L., Kenworthy, J. P. et Mims, A. L. (2009) 'Monitoring in situ paleontological resources', in R. Young et L. Norby (eds) *Geological Monitoring*, pp. 189–204, Geological Society of America, Boulder, CO.
- Scottish Geodiversity Forum (2013) *Scotland's Geodiversity Charter*. <scottishgeodiversityforum.org/charter/>
- Scottish Natural Heritage (2000) *A Guide to Managing Coastal Erosion in Beach/Dune Systems*, Scottish Natural Heritage, Battleby, Écosse. <www.snh.gov.uk/publications-data-and-research/publications/search-the-catalogue/publication-detail/?id=112>
- Scottish Natural Heritage (2006) *Guidance on Establishing and Managing Local Nature Conservation Site Systems in Scotland*, Scottish Natural Heritage, Battleby, Écosse. <www.snh.gov.uk/publications-data-and-research/publications/search-the-catalogue/publication-detail/?id=562>
- Scottish Natural Heritage (2011) *Interpretive Planning*, Scottish Natural Heritage, Battleby, Écosse. <www.snh.gov.uk/policy-and-guidance/heritage-interpretation/interpretive-planning/>
- Semeniuk, V., Semeniuk, C. A., Taus, C., Unno, J. et Brocx, M. (2011) *Walpole and Nornalup Inlets: Landforms, stratigraphy, evolution, hydrology, water quality, biota, and geoheritage*, Wetlands Research Association, Western Australian Museum, Perth.
- Sharples, C. (1993) *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes*, Technical Report, Forestry Commission Tasmania, Hobart.
- Sharples, C. (2002) *Concepts and Principles of Geoconservation*, Tasmanian Parks and Wildlife Service, Hobart. <[www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)>
- Sharples, C. (2011) *Potential Climate Change Impacts on Geodiversity in the Tasmanian Wilderness World Heritage Area: a management response position paper*, Nature Conservation Report Series 11/04, Resource Management and Conservation Division, Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment, Hobart. <www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/LJEM-8P983Y?open>
- Stace, H. et Larwood, J. G. (2006) *Natural Foundations: Geodiversity for people, places and nature*, Natural England, Peterborough, Royaume-Uni. <publications.naturalengland.org.uk/publication/60005>
- The River Restoration Centre (RRC) (2013) *Manual of River Restoration Techniques*, The River Restoration Centre, Cranfield, Royaume-Uni. <www.therrc.co.uk/rrc_manual.php>
- Thorsnes, T., Erikstad, L., Dolan, M. F. J. et Bellec, V. (2009) 'Submarine landscapes along the Lofoten-Vesterålen-Senja margin, northern Norway', *Norwegian Journal of Geology* 89: 5–16.
- Tilden, F. (1977) *Interpreting Our Heritage*, 3rd edn, University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- Towers, W., Malcolm, A. et Bruneau, P. (2005) *Assessing the nature conservation value of soil and its relation with designated features*, Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 111, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/commissioned_reports/F03AC104.pdf>
- UK Geodiversity Action Plan (UKGAP) (2014) *UK Geodiversity Action Plan*. <www.ukgap.org.uk/>

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) (2010) *Guidelines and Criteria for National Geoparks Seeking UNESCO's Assistance to Join the Global Geoparks Network (GGN)*, UNESCO, Paris. <www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/GGN2010.pdf>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) (2014a) *Earth Sciences: Global Geoparks*, UNESCO, Paris. <www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/global-geoparks/>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) (2014b) *World Heritage List*, UNESCO, Paris. <whc.unesco.org/en/list>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO) (2014c) *Main Characteristics of Biosphere Reserves*, UNESCO, Paris. <www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/main-characteristics>
- Veverka, J. A. (1994) *Interpretive Master Planning*, Falcon Press, Helena, MT.
- Werritty, A., Duck, R. W. et Kirkbride, M. P. (1998) *Development of a conceptual and methodological framework for monitoring site condition in geomorphological systems*, Scottish Natural Heritage Research, Survey and Monitoring Report No. 105, Inverness, Écosse. <www.snh.org.uk/pdfs/publications/research/105.pdf>
- Wimbledon, W. A. P. et Smith-Meyer, S. (eds) (2012) *Geoheritage in Europe and its Conservation*, ProGEO, Oslo.
- Wimbledon, W. A. P., Barnard A. F. et Peterken A. G. (2004) 'Geosite management: a widely applicable, practical approach', in M. A. Parkes (ed.) *Natural and Cultural Landscapes: The geological foundation*, pp. 187–92, Royal Irish Academy, Dublin.
- Wimbledon, W. A. P., Ishchenko, A. A., Gerasimenko, N. P., Karis, L. O., Suominen, V., Johansson, C. E. et Freden, C. (2000) 'Geosites: an IUGS initiative—science supported by conservation', in D. Baretino, W. A. P. Wimbledon and E. Gallego (eds) *Geological Heritage: Its conservation and management*, pp. 69–94, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid. <www.igme.es/patrimonio/publicaciones/Wimbledon_et_al_2000_english.PDF>
- Worboys, G. L. (2013) *Conserving Australia's Geoheritage*, Department of the Environment, Canberra. <www.environment.gov.au/system/files/pages/f4d5ba7d-e4eb-4ced-9c0e-104471634fbb/files/essay-conserving-worboys.pdf>

Ce texte est extrait du livre « Gouvernance et gestion des aires protégées »
édité par Graeme L. Worboys, Michael Lockwood, Ashish Kothari, Sue Feary et Ian Pulsford,
publié en 2020 par l'ANU Press, l'Australian National University, Canberra, Australie.

La reproduction de cette publication de l'ANU Press à des fins éducatives ou non commerciales est autorisée sans l'autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur, à condition que la source soit clairement indiquée.
La reproduction de cette publication pour la revente ou à d'autres fins commerciales est interdite sans l'autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur.