

Lignes directrices pour la géoconservation dans les aires protégées et conservées

Crofts R., Gordon J.E., Brilha J., Gray M., Gunn J., Larwood J., Santucci V.L., Tormey D., et Worboys, G.L.

Craig Groves, Éditeur de la série



Développement des capacités pour une planète protégée

Lignes directrices des meilleures pratiques pour les aires protégées N° 31

LA COLLECTION DES LIGNES DIRECTRICES DES MEILLEURES PRATIQUES DANS LES AIRES PROTÉGÉES DE LA CMAP DE L'UICN

Les Lignes directrices des meilleures pratiques dans les aires protégées de la CMAP de l'UICN sont une ressource faisant mondialement autorité auprès des gestionnaires d'aires protégées. Bénéficiant de la collaboration de professionnels spécialistes cherchant à encourager une meilleure mise en oeuvre sur le terrain, elles diffusent un savoir et des conseils au-delà de l'UICN. Appliquées sur le terrain, elles renforcent les capacités institutionnelles et individuelles pour gérer les systèmes d'aires protégées efficacement, équitablement et durablement, et pour faire face à la multitude de défis présents dans la pratique. Elles aident également les gouvernements nationaux, les organismes de gestion des aires protégées, les organisations non-gouvernementales, les communautés et les partenaires du secteur privé à respecter leurs engagements et objectifs, et notamment le Programme de travail de la Convention sur la diversité biologique sur les aires protégées.

Un ensemble de lignes directrices est disponibles à l'adresse : www.iucn.org/pa_guidelines

Des ressources complémentaires sont disponibles à l'adresse : www.cbd.int/protected/tools/

Contribuez au renforcement des capacités pour une planète protégée à l'adresse : www.protectedplanet.net

DÉFINITION, CATÉGORIES DE GESTION ET TYPES DE GOUVERNANCE DES AIRES PROTÉGÉES SELON L'UICN

L'UICN définit « aire protégée » comme suit :

Un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associés.

La définition est complétée par six catégories de gestion (dont une avec une sous-division), présentées ci-dessous.

Ia Réserve naturelle intégrale : Strictement protégées pour protéger la biodiversité et aussi, éventuellement, des caractéristiques géologiques/géomorphologiques, ou les visites, l'utilisation et les impacts humains sont strictement contrôlés et limités pour garantir la protection des valeurs de conservation.

Ib Zone de nature sauvage : généralement de vastes aires intactes ou légèrement modifiées, qui ont conservé leur caractère et leur influence naturels, sans habitations humaines permanentes ou significatives, qui sont protégées et gérées aux fins de préserver leur état naturel.

II Parc national : De vastes aires naturelles ou quasi naturelles mises en réserve pour protéger des processus écologiques de grande échelle, ainsi que les espèces et les écosystèmes caractéristiques d'une région, qui fournissent aussi des opportunités de visites de nature spirituelle, scientifique, éducative et récréative, dans le respect de l'environnement et de la culture des communautés locales.

III Monument ou élément naturel : Aires 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.

IV Aire de gestion des habitats ou des espèces : Aires visant à protéger des espèces ou des habitats particuliers, et leur gestion reflète cette priorité. De nombreuses aires protégées de cette catégorie ont besoin d'interventions régulières et actives pour répondre aux exigences d'espèces particulières ou pour maintenir des habitats, mais cela n'est pas une exigence de la catégorie.

V Paysage terrestre ou marin protégé : Une aire protégée où l'interaction des humains et de la nature a produit, au fil du temps, une aire qui possède un caractère distinct, avec des valeurs écologiques, biologiques, culturelles et panoramiques considérables, et où la sauvegarde de l'intégrité de cette interaction est vitale pour protéger et maintenir l'aire, la conservation de la nature associée ainsi que d'autres valeurs.

VI Aire protégée avec utilisation durable des ressources naturelles : Aires préservant des écosystèmes et des habitats, ainsi que les valeurs culturelles et les systèmes de gestion des ressources naturelles traditionnelles qui y sont associés. Elles sont généralement vastes, et la plus grande partie de leur superficie présente des conditions naturelles; une certaine proportion y est soumise à une gestion durable des ressources naturelles; et une utilisation modérée des ressources naturelles, non industrielle et compatible avec la conservation de la nature, y est considérée comme l'un des objectifs principaux de l'aire.

La catégorie doit être fondée sur le(s) objectif(s) premier(s) de la gestion de l'aire protégée, qui doit s'appliquer à au moins trois quarts de l'aire protégée – la « règle des 75 pour cent ».

Les catégories de gestion sont appliquées à l'aide d'une typologie des types de gouvernance – à savoir une description des acteurs qui détiennent l'autorité et la responsabilité de la gestion de l'aire protégée. L'UICN établit quatre types de gouvernance.

Type A. Gouvernance par le gouvernement : gouvernance par un organisme/ministère fédéral ou national; par un organisme/ministère infranational (par ex. à l'échelon régional, provincial ou municipal); ou déléguée par le gouvernement (p. ex. à une ONG).

Type B. Gouvernance partagée : Gouvernance transfrontalière (ententes officielles et informelles entre deux ou plusieurs pays); gouvernance collaborative (par différents moyens permettant une collaboration entre une variété d'acteurs et d'institutions); gouvernance conjointe (conseil d'administration multipartite ou autre organe directeur multipartite).

Type C. Gouvernance privée : Établissement et gestion des aires de conservation assurés par des propriétaires fonciers individuels; des organisations à but non lucratif (par ex. les ONG et les universités); et des organisations à des fins lucratives (par ex. des entreprises propriétaires de terres).

Type D. Gouvernance par des populations autochtones et des communautés locales : les aires et les territoires des populations autochtones établis et gérés par des populations autochtones; et les zones de conservation communautaire créées et gérées par les communautés.

Pour plus d'informations sur la définition, les catégories et les types de gouvernance selon l'UICN, voir : Dudley (2008). *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*, disponible à l'adresse www.iucn.org/pa_categories

Pour plus d'information sur les types de gouvernance types, voir : Borri-Feyerabend, et al., (2013). *Gouvernance des aires protégées : de la compréhension à l'action*, disponible à l'adresse <https://portals.iucn.org/library/node/44864>

Lignes directrices pour la géoconservation dans les aires protégées et conservées



Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)

L'UICN est une union de Membres composée de gouvernements et d'organisations de la société civile. Elle offre aux organisations publiques, privées et non-gouvernementales les connaissances et les outils nécessaires pour que le progrès humain, le développement économique et la conservation de la nature se réalisent en harmonie.

Créée en 1948, l'UICN s'est agrandie au fil des ans pour devenir le réseau environnemental le plus important et le plus diversifié au monde. Elle compte avec l'expérience, les ressources et le poids de ses plus de 1400 organisations Membres et les compétences de ses plus de 18 000 experts. Elle est l'un des principaux fournisseurs de données, d'évaluations et d'analyses sur la conservation. Sa taille lui permet de jouer le rôle d'incubateur et de référentiel fiable de bonnes pratiques, d'outils et de normes internationales.

L'UICN offre un espace neutre où diverses parties prenantes – gouvernements, ONG, scientifiques, entreprises, communautés locales, groupes de populations autochtones, organisations caritatives et autres – peuvent travailler ensemble pour élaborer et mettre en œuvre des solutions pour lutter contre les défis environnementaux et obtenir un développement durable.

Travaillant de concert avec de nombreux partenaires et soutiens, l'UICN met en œuvre un portefeuille vaste et divers de projets liés à la conservation dans le monde. Associant les connaissances scientifiques les plus pointues et le savoir traditionnel des communautés locales, ces projets visent à mettre un terme à la disparition des habitats, à restaurer les écosystèmes et à améliorer le bien-être des populations.

www.iucn.org/fr

twitter.com/IUCN



Commission mondiale des aires protégées (CMAP) de l'UICN

La Commission mondiale des aires protégées (CMAP) de l'UICN est le plus grand réseau mondial d'experts sur les aires protégées. Elle est administrée par le Programme des aires protégées de l'UICN et compte plus de 2 500 membres répartis dans 140 pays. La CMAP est l'une des six commissions volontaires de l'UICN et sa mission est de promouvoir la création et la gestion efficace d'un réseau mondial représentatif d'aires protégées terrestres et marines de manière à contribuer pleinement à la mission de l'UICN. La CMAP aide les gouvernements et d'autres acteurs à concevoir des plans sur les aires protégées et à les intégrer dans tous les secteurs, prodigue des conseils stratégiques aux décideurs politiques et aux praticiens pour les aider à renforcer les capacités et les investissements dans les aires protégées, et mobilise les multiples parties prenantes intéressées par les aires protégées pour aborder les grands enjeux. Depuis plus de 60 ans, l'UICN et la CMAP sont au premier plan des efforts mondiaux dans le domaine des aires protégées.

www.iucn.org/wcpa



Convention sur la diversité biologique

Convention sur la diversité biologique (CDB)

Ouverte à la signature lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 et entrée en vigueur en décembre 1993, la Convention sur la diversité biologique est un traité international qui a pour objectifs la conservation de la biodiversité, l'utilisation durable de ses éléments et le partage équitable des avantages tirés de l'utilisation des ressources génétiques. Comptant 196 signataires à ce jour, la Convention.

www.cbd.int



Cultural Heritage Administration

Administration du patrimoine culturel, République de Corée

L'Administration du patrimoine culturel a été créée pour préserver l'intégrité des traditions culturelles de Corée et mettre en valeur la vie culturelle des Coréens, en préservant et en encourageant l'utilisation du patrimoine culturel. Elle opère sous l'égide du ministère de la Culture et du Tourisme. Son rôle est de contribuer à l'avancement de la culture nationale par le biais de la conservation et en créant des valeurs issues du patrimoine culturel. Elle cherche à imposer la Corée comme un pays faisant autorité dans le monde en matière de patrimoine culturel. Elle finance la recherche dans des instituts, prépare des candidatures pour soumission à la liste de biens de l'UNESCO, et s'occupe des biens en Corée. Elle fournit également des fonds pour permettre la diffusion internationale du savoir, dont un financement pour la publication des Lignes directrices de la CMAP UICN pour la géoconservation dans les aires protégées.

english.cha.go.kr/cop/bbs/selectBoardList.do?bbsId=BBSMSTR_1205&mn=EN_03_01&ctgryLrcls=CTGRY209



Groupe de spécialistes de la CMAP UICN sur le géopatrimoine

Le Groupe de spécialistes sur le géopatrimoine a été créé après que l'UICN a élargi sa définition d'une aire protégée pour inclure tous les éléments de la nature, et donc la géodiversité et le géopatrimoine, comme nécessitant des mesures de conservation. Les membres du Groupe de spécialistes sur le géopatrimoine s'appuient sur leur expertise et connaissances des sciences de la Terre, et leur application à la planification, à la gestion et aux opérations relatives aux aires protégées. Le Groupe est composé de plus de 100 membres, et offre des conseils de spécialistes sur tous les aspects de la géodiversité en rapport avec les aires protégées et leur gestion, y compris les grottes et les karsts.

www.iucn.org/commissions/world-commission-protected-areas/our-work/geoheritage

Lignes directrices pour la géoconservation dans les aires protégées et conservées

Crofts R., Gordon J.E., Brilha J., Gray M., Gunn J., Larwood J., Santucci V.L., Tormey D., et Worboys, G.L.

Craig Groves, Éditeur de la série

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN ou des autres organisations concernées.

L'UICN remercie ses partenaires cadre pour leur précieux support et tout particulièrement : le Ministère des affaires étrangères du Danemark ; le Ministère des affaires étrangères de la Finlande ; le Gouvernement Français et l'Agence Française de Développement (AFD) ; le Ministère de l'environnement de la République de Corée ; l'Agence norvégienne de développement et de coopération (Norad) ; l'Agence suédoise de coopération internationale au développement (Asdi) ; la Direction du développement et de la coopération de la Suisse (DDC) et le Département d'Etat des Etats Unis d'Amérique.

L'UICN et les autres organisations concernées déclinent toute responsabilité en cas d'erreurs ou d'omissions intervenues lors de la traduction en français de ce document dont la version originale est en Anglais. En cas de divergences, veuillez vous référer à l'édition originale : *Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas*. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 31. (2020). Publié par : UICN, Gland, Suisse. DOI : <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.31.en>

Le présent ouvrage a pu être publié grâce à un soutien financier de l'Administration du patrimoine culturel, République de Corée.

Publié par : UICN, Gland, Suisse

Produit par : UICN, Programme du patrimoine mondial

Droits d'auteur : © 2020 UICN, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources
© 2021 UICN, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources, pour la traduction française

La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du (des) détenteur(s) des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée.

La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du (des) détenteur(s) des droits d'auteur.

Citation recommandée : Crofts, R.*, Gordon, J.E., Brilha, J., Gray, M., Gunn, J., Larwood, J., Santucci, V.L., Tormey, D., and Worboys, G.L. (2021). *Lignes directrices pour la géoconservation dans les aires protégées et conservées*. Lignes directrices des meilleures pratiques pour les aires protégées No. 31. Gland, Suisse : UICN. *Auteur-ressources : roger.dodin@btinternet.com

ISBN : 978-2-8317-2148-4 (PDF)

DOI : <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.31.fr>

Photo couverture : Parc national Yellowstone (Wyoming, États-Unis) ; Parc national Hohe Tauern (Carinthie, Autriche) ; Parc national Galápagos (Équateur) ; Parc national Serengeti (République-Unie de Tanzanie) © Roger Crofts
Parc national Yoho (Canada) © Parcs Canada, Ryan Creary ; Parc national Triglav (Slovénie) ; Parc national Royal Natal (KwaZulu-Natal, Afrique du Sud) ; Parc national Jiuzhaigou (Sichuan, Chine) © Roger Crofts

Mise en page : Niall O'Laoghaire, Guilden Design

Traduit par : Paula Salnot / Editions Anacaona

Table des matières

Avant-propos.....	viii
Remerciements.....	ix
Résumé.....	x
Section 1 : Objectif, contenu et utilisation des Lignes directrices.....	1
Section 2 : Définir le contexte de la géoconservation dans les aires protégées et conservées : Principaux concepts et définitions	5
Section 3 : Appliquer les principes généraux de la géoconservation dans la gestion des aires protégées et conservées.....	13
Section 4 : Mettre en place une géoconservation dans les aires protégées et conservées	21
Section 5 : Gérer le géopatrimoine dans les aires protégées et conservées	39
Section 6 : Gérer les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées et conservées	63
Section 7 : La gestion de la géoconservation dans certaines situations	88
Section 8 : Éducation et communication pour la géoconservation	112
Section 9 : Vue d'ensemble	123
Glossaire	126
Références.....	133
Biographies des auteurs	142

Encadrés

Encadré 2.1 : La Déclaration de Digne	7
Encadré 4.1 : Boîte à outils sur le géopatrimoine	31
Encadré 4.2 : Gestion de la géoconservation basée sur la communauté dans le Géoparc mondial de l'UNESCO de Gunung Sewu, Indonésie	33
Encadré 4.3 : Site fossilifère forestier d'intérêt scientifique spécial de Brymbo, Wrexham, Royaume-Uni	34
Encadré 5.1 : Rapports de documentation du site et plans de gestion	40
Encadré 5.2 : Le géoarchéosite de la Nécropole étrusque de San Giuliano, Italie	57
Encadré 5.3 : Géoconservation et stratégies de gestion : Les composantes du succès, à partir de deux Géoparcs mondiaux de l'UNESCO en Espagne	61
Encadré 5.4 : Travail de protection dans les paysages volcaniques	61
Encadré 5.5 : Réserve de conservation du karst de Jenolan, Nouvelle-Galles du Sud, Australie	62
Encadré 6.1 : Site d'intérêt scientifique spécial de la carrière et réserve de nature nationale de Horn Park, Royaume-Uni	68
Encadré 6.2 : Amélioration de la qualité de l'eau de la rivière Reka, Parc régional de Škocjanske jame, Slovénie	75
Encadré 6.3 : Tors et gestion de la végétation	76
Encadré 6.4 : Restauration après l'éruption du mont St-Hélène, États-Unis	83
Encadré 6.5 : Restauration du géosite d'Alto Vez, mont Peneda, Portugal	83
Encadré 7.1 : Étude de cas de restauration - Site d'intérêt scientifique spécial de la carrière de Pitstone, Buckinghamshire, Royaume-Uni	98
Encadré 7.2 : Étude de cas des sites paléontologiques dans les Parcs nationaux américains	105
Encadré 8.1 : Falaises fossilifères de Joggins, Canada	118
Encadré 8.2 : Promouvoir l'éducation et la formation : Une formation en ligne sur les Géoparcs mondiaux	119

Tableaux

Tableau 1.1 Structure et plan des Lignes directrices	3
Tableau 2.1 Exemples de biens et services fournis par la géodiversité dans la région littorale de l'État de São Paulo, Brésil.	12
Tableau 3.1 Principaux principes directeurs pour la géoconservation dans la gestion des aires protégées	14
Tableau 4.1 Principaux intérêts du géopatrimoine à prendre en considération pour les aires protégées de géoconservation	23
Tableau 4.2 Éléments d'informations pour l'initiation du personnel de l'aire protégée	33
Tableau 5.1 Classification de types de sites de géopatrimoine, menaces typiques et objectifs de conservation.	41
Tableau 5.2 Attributs recommandés du suivi de la condition du site et objectifs globaux	47
Tableau 5.3 Opérations dans l'aire protégée bénéficiant de l'expertise des sciences de la Terre	49
Tableau 5.4 Géopatrimoine et catégories de gestion des aires protégées de l'UICN	51
Tableau 5.5 Types de suivi et leur utilisation	59
Tableau 5.6 Exemples de suivi, évaluation et rapports de géopatrimoine	60
Tableau 5.7 Sécurité des visiteurs dans les paysages volcaniques	61
Tableau 6.1 Échelle de géosensibilité tasmanienne de 10 points	64
Tableau 6.2 Principales menaces anthropiques au géopatrimoine dans les aires protégées	65
Tableau 6.3 Impacts du changement climatique sur les géosites	81
Tableau 6.4 Exemple de liens entre géodiversité et biodiversité	85
Tableau 7.1 Principales considérations pour la géoconservation des grottes et des karsts	93
Tableau 7.2 Principales menaces et exigences de gestion de la conservation pour différentes catégories de sites glaciaires et périglaciaires	99
Tableau 7.3 Protéger les sites paléontologiques des menaces	103
Tableau 7.4 Résumé des principes pratiques pour la conservation des sites de fossiles et de minéraux	107
Tableau 7.5 Questions de gestion des risques à prendre en compte dans les zones volcaniques	109
Tableau 8.1 Quelques principes généraux pour l'interprétation et l'éducation autour du géopatrimoine	121

Schémas :

Schéma 1.1. Principales étapes pour créer et gérer des aires protégées de géoconservation, et principaux sujets abordés dans les présentes Lignes directrices.....	4
Schéma 2.1. Services écosystémiques depuis une perspective de géodiversité	11
Schéma 4.1. Inventaire du géopatrimoine et processus de gestion dans les aires protégées.....	25
Schéma 4.2. Représentation des niveaux d'importance applicables aux caractéristiques du géopatrimoine	30
Schéma 6.1. Poster explicatif « Conserver la scène	84

Avant-propos

La Commission mondiale des aires protégées de l'UICN publie des Lignes directrices des meilleures pratiques depuis de nombreuses années. L'objectif est d'aider tous ceux qui sont impliqués dans des activités liées aux aires protégées et conservées du monde entier à avoir accès à l'information la plus actuelle et à des pratiques bien renseignées provenant d'experts.

Depuis que l'UICN a changé sa définition d'une aire protégée il y a plus de dix ans, afin d'inclure la géoconservation aux côtés de la conservation de la biodiversité, à quoi s'ajoutent les mandats approuvés par trois Congrès mondiaux de la nature de l'UICN en 2008, 2012 et 2016, nous avons constaté une nécessité évidente de fournir des orientations sur la géoconservation.

Les aires conservées sont incluses dans ce guide au côté des aires protégées, reconnaissant ainsi l'importance des autres moyens efficaces de protection du géopatrimoine. Deux sont particulièrement importants pour la géoconservation : les sites du Patrimoine mondial et les Géoparcs – ces derniers étant un réseau mondial en pleine croissance, sous l'égide de l'UNESCO.

L'idée communément répandue est que le géopatrimoine est solide et peut se débrouiller tout seul. Mais comme le montrent ces Lignes directrices, ce n'est pas le cas. Un grand nombre de ses caractéristiques sont fragiles et peuvent être facilement abîmées par la surexploitation, ou l'exploitation pour les pierres et les minéraux. La gestion de ces menaces est un défi constant pour les responsables de sites. Avec les effets croissants du changement climatique mondial, il devient encore plus important de veiller à ce que la géoconservation soit efficace pour mieux comprendre comment la nature a répondu, par le passé, aux changements climatiques naturels et comment l'aider au mieux aujourd'hui et dans le futur. Une approche dynamique et flexible pour l'identification et la gestion des sites est donc absolument appropriée.

La géoconservation se focalise sur la protection et la conservation des meilleurs exemples de fossiles, formations rocheuses et minéraux particuliers, et de formations géologiques particulières représentant les différents stades climatiques tout au long de l'histoire de la Terre. Elle cherche aussi à ce que les processus actuels naturels, non-biologiques, soient correctement conservés et gérés.

Il existe un lien vital entre la conservation de la biodiversité et la conservation de la géodiversité. Alors que les connaissances autour de cette interaction s'améliorent, nous avons de plus en plus besoin de garantir que l'ensemble de l'écosystème, et toutes ses parties fonctionnelles, soient traitées comme une entité.

Le personnel des aires protégées est souvent découragé par le langage jargonnel des sciences de la Terre. Dans ces Lignes directrices, les auteurs espèrent lever ces obstacles à la compréhension pour les responsables et leur personnel. En outre, ils ont rédigé un glossaire en fin d'ouvrage, d'accès facile. Il est surtout vital que le personnel informe le public du géopatrimoine d'une façon qui soit facile à comprendre, inspirante, et qui suscite l'intérêt et l'enthousiasme.

Ces Lignes directrices sont le résultat d'une coopération internationale au sein du Groupe de spécialistes de la CMAP sur le géopatrimoine. Ce Groupe ne cesse de s'agrandir et possède l'expertise et l'expérience sur tous les aspects du géopatrimoine et de sa conservation. Ses membres se tiennent prêts et disposés à aider leurs collègues des aires protégées et conservées dans leur travail.

Je recommande ces Lignes directrices sur le géopatrimoine à toute personne impliquée dans la création et la gestion d'aires protégées et conservées, afin que nous protégeons notre géodiversité ainsi que notre patrimoine de biodiversité.

Dr Kathy MacKinnon

Présidente

Commission mondiale des aires protégées de l'UICN

Remerciements

Ce texte a bénéficié de contributions provenant du monde entier. En tant que responsable de publication, Roger Crofts aimerait particulièrement remercier les personnes suivantes pour leurs contributions écrites et éditoriales : John Gordon, Murray Gray, Dan Tormey et Graeme L. Worboys. Il remercie également les autres personnes qui ont contribué au texte ou aux études de cas : Tim Badman, José Brilha, Margaret Brocx, Thais de Siqueira Canesin, Rosana Cerkenik, Nigel Dudley, Christof Ellger, John Gunn, Eko Haryono, Renato Henriques, Maria da Glória Motta Garcia, Jonathan Larwood, Josep-Maria Mallarach, Dario Mancinella, Colin McFadyen, Anne Musser, Piotr Migoń, Diamantino Pereira, Paulo Pereira, Raymond Roberts, Vincent Santucci et Kyung Sik Woo. Merci également à Eleanor Brown, Enrique Diaz-Martinez, Shane Orchard et Rachel Wignall pour leurs précieuses remarques.

Merci à Judy Fisher et David Welch, réviseurs indépendants de l'ensemble du texte, pour leur contribution. Merci à Kathy MacKinnon, Trevor Sandwith et Craig Groves pour leurs commentaires qui ont considérablement amélioré le document. Merci à Dave Harmon pour la révision et les commentaires et conseils précieux. Merci à Niall O'Laoghaire de Guilder Design pour le design et la maquette.

Cette publication n'aurait pas été possible sans le soutien financier généreux de l'Administration du patrimoine culturel, République de Corée.

Ces Lignes directrices sont dédiées au Dr Graeme L. Worboys, qui a tellement contribué à leur élaboration et nous a quittés avant leur publication.

Enfin, un grand merci à nos collègues du Groupe de spécialistes de la CMAP UICN sur le géopatrimoine, à Tim Badman qui s'est occupé du budget et à ma femme Lindsay, pour sa patience.

Résumé

Ces Lignes directrices sont destinées à aider toute personne impliquée, de quelque manière que ce soit, dans la création et la gestion des aires protégées et la gestion responsable des aires conservées, afin de comprendre et d'aborder la conservation du géopatrimoine (dénommée *géoconservation* dans le présent ouvrage). Le graphique explicatif de la Section 1 guidera le lecteur vers les sections qui sont les plus pertinentes selon son rôle et son activité.

Le résumé de chaque section inclut les Lignes directrices des meilleures pratiques pour les utilisateurs.

Section 1 : Objectif, contenu et utilisation des Lignes directrices

Cette section décrit l'objectif et le lectorat cible des présentes Lignes directrices, présente le contexte de la *géoconservation*, fournit un tableau et un diagramme pour guider le lecteur dans tout le document, et présente les sources d'orientation supplémentaires importantes.

Section 2 : Définir le contexte de la *géoconservation* dans les aires protégées et conservées : Principaux concepts et définitions - Cette section fournit des définitions standard du géopatrimoine, de la géodiversité et de la *géoconservation* ; elle décrit les cinq principales valeurs du géopatrimoine et de la géodiversité ; explique la pertinence de la *géoconservation* pour l'UICN et pour les aires protégées. Elle offre également des conseils sur l'application de ces Lignes directrices aux autres mécanismes de conservation efficaces et aires conservées.

Nous recommandons à tous les utilisateurs de lire cette section, qui donne un contexte essentiel au reste du document.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°1 : Pour éviter toute confusion, utiliser les définitions de géopatrimoine, géodiversité, *géoconservation*, aires protégées de *géoconservation*, et géosites de façon cohérente.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°2 : Ces Lignes directrices doivent être appliquées aux autres mécanismes de conservation efficaces et autres aires conservées, ainsi qu'aux aires protégées.

Section 3 : Appliquer les principes généraux de la *géoconservation* dans la gestion des aires protégées et conservées

Cette section décrit neuf principes généraux pour la *géoconservation*, comme base pour créer et gérer la *géoconservation* dans les aires protégées. Nous recommandons à tous les utilisateurs de lire cette section, qui donne un contexte essentiel pour appliquer les Lignes directrices.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°3 : Utiliser les neuf principes pour la *géoconservation* dans l'inventaire, la planification, la définition d'objectifs, la gestion et le suivi des caractéristiques et processus du géopatrimoine.

Section 4 : Mettre en place une *géoconservation* dans les aires protégées et conservées

Cette section décrit les principales étapes dans la mise en place d'une nouvelle aire protégée de *géoconservation*, ou la protection de caractéristiques et processus géologiques et géomorphologiques dans le cadre d'aires protégées existantes : définition de l'objectif, de l'échelle de l'opération (nationale, régionale ou locale), réalisation d'un inventaire des caractéristiques et processus du géopatrimoine, et définition des critères d'évaluation du site. Des exemples sont fournis. Cette section insiste sur l'importance d'inclure la *géoconservation* dans les documents de planification nationale, régionale et locale. La pertinence des différents types de mécanismes de protection, gouvernance, propriété et accords fonciers sont décrits. Les exigences pour l'expertise pertinente sont débattues. La pertinence d'approches internationales comme la Liste du patrimoine mondial, les Géoparcs mondiaux, ainsi que les réserves de biosphère et les sites Ramsar, est débattue brièvement.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°4 : Utiliser les huit types d'intérêts du géopatrimoine (Tableau 4.1) pour définir les objectifs d'un réseau d'aires protégées de *géoconservation* ou de géosites.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°5 : Réaliser un inventaire de géosites à l'aide de l'approche du diagramme, Schéma 4.1.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°6 : Utiliser des critères d'évaluation des géosites clairs, incluant des études scientifiques, l'usage éducatif, le géotourisme et l'utilisation à usage récréatif.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°7 : Encourager le développement de plans d'action à l'échelle nationale, régionale et locale, afin de s'assurer que la *géoconservation* est bien incluse dans les principaux documents décisionnaires.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°8 : Utiliser les orientations de la CMAP sur les aires protégées et autres mesures de conservation locales et efficaces afin de garantir le mécanisme de protection le plus efficace pour le géosite.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°9 : Utiliser des experts pour garantir un apport technique à la planification, la gestion et la communication relative à la *géoconservation*.

Lignes directrices pour la *géoconservation* dans les aires protégées et conservées

Ligne directrice des meilleures pratiques n°10 : Se demander si l'aire protégée et ses caractéristiques et processus du géopatrimoine peuvent répondre aux critères de l'UNESCO dans le cadre de la Convention du Patrimoine mondial et/ou le réseau des Géoparcs mondiaux

Ligne directrice des meilleures pratiques n°11 : Se demander dans quelle mesure la géodiversité et le géopatrimoine dans les réserves de biosphère et les sites Ramsar peuvent être gérés pour assurer respectivement la conservation de la biodiversité et des zones humides, et du géopatrimoine.

Section 5 : Gérer le géopatrimoine dans les aires protégées et conservées

Cette section fournit des orientations détaillées sur tous les aspects de la gestion des géosites dans les aires protégées, notamment la planification de la gestion, les aspects opérationnels, l'application des catégories de gestion de l'UICN, l'introduction de valeurs spirituelles et culturelles, et les systèmes de suivi et d'évaluation. Elle se termine avec des exemples de gestion de la géoconservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°12 : Suivre le cadre général en deux étapes d'analyse des besoins en conservation, et de la planification de la conservation, et la conclusion pour inclure la géoconservation dans les plans de gestion des aires protégées.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°13 : Utiliser une approche systématique pour orienter les opérations de gestion, notamment le caractère approprié des matériaux pour les sentiers et les bâtiments, les évaluations des principaux risques, et les effets du changement climatique.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°14 : Évaluer la pertinence de chacune des catégories de gestion d'aires protégées de l'UICN pour créer de nouvelles aires protégées pour la géoconservation, ou améliorer la gestion des aires existantes pour la géoconservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°15 : Inclure les valeurs culturelles et spirituelles dans les objectifs et la gestion des aires protégées de géoconservation et, lorsqu'approprié, inclure le géopatrimoine dans les aires protégées créées à des fins spirituelles et culturelles.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°16 : Élaborer des schémas de suivi afin d'évaluer les caractéristiques et processus naturels essentiels, et ajuster les plans en conséquence (dans un cadre de gestion adaptative) afin de veiller à atteindre les objectifs de géoconservation.

Section 6 : Gérer les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées et conservées

Cette section est axée sur les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées, et comment y faire face. Les concepts de sensibilité et de vulnérabilité du géopatrimoine sont définis, comme base pour prendre des décisions de gestion. Les principales menaces au géopatrimoine dans les aires protégées sont également décrites. Des orientations sont fournies pour évaluer les risques et les impacts. Des lignes directrices générales sur la gestion des sites pour faire face aux menaces provenant de neuf sources précises sont répertoriées. Enfin, l'interaction entre la conservation de la géodiversité et de la biodiversité est débattue, et les principales problématiques de la gestion sont identifiées.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°17 : Utiliser les concepts de *sensibilité* et de *vulnérabilité* pour orienter les évaluations des menaces et leurs impacts potentiels sur les caractéristiques et processus du géopatrimoine.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°18 : Adopter une approche en plusieurs étapes pour répondre aux menaces qui pèsent sur le géopatrimoine, comme l'identification du type de menace, la sensibilité d'un site à la menace, l'évaluation des risques et la priorisation des actions de gestion.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°19 : Reconnaître les interrelations positives et négatives entre la conservation de la biodiversité et de la géodiversité pour offrir le meilleur résultat possible à la conservation de la nature.

Section 7 : Gérer le géopatrimoine dans certaines situations

Des conseils précis sont fournis sur des topographies, processus et caractéristiques ; des menaces ; et des principes et lignes directrices de gestion pour quatre situations différentes : grottes et karsts, glaciaire et périglaciaire, minéraux et paléontologie, et volcanique. Un accès à des études de cas est fourni par des liens URL dans la section des références.

Section 8 : Éducation et communication pour la géoconservation

Cette section établit les principes généraux et les pratiques pour l'interprétation, l'éducation et la sensibilisation du public en matière de géoconservation. Elle aborde comment les nouveaux médias et les médias traditionnels peuvent être utilisés efficacement.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°20 : Déterminer la nature et les caractéristiques du public cible pour sensibiliser efficacement le public sur la géoconservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°21 : Inclure une planification interprétative, des programmes de sensibilisation à l'éducation environnementale hors site, et une interprétation basée sur Internet ou aidée par une application mobile, afin que les aires protégées de géoconservation attirent les visiteurs, améliorent la compréhension de la géoconservation, et améliorent l'expérience des visiteurs.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°22 : Utiliser les médias traditionnels pour informer le public sur la géoconservation.

Section 9 : Vue d'ensemble

Description des principaux points pour les lecteurs, en soulignant l'interaction et l'interdépendance importante entre la géoconservation et la conservation de la biodiversité, et la nécessité d'une gestion active du géopatrimoine et d'une bonne communication.



© Penelope Figgis

Ce numéro des Lignes directrices des meilleures pratiques est dédié à la mémoire du Dr. Graeme L. Worboys, AM (1950-2020) : collègue inspirant, autorité sur la géoconservation, et conservationniste militant.

Objectif, contenu et utilisation des Lignes directrices

1



Cette section propose :

- Un résumé de l'objectif et du contenu des Lignes directrices (1.1)
- Un guide succinct sur la façon dont utiliser les Lignes directrices et trouver des sujets précis (1.2)
- Des sources additionnelles d'information importantes (1.3).

1.1 Objectif des présentes Lignes directrices

Ces Lignes directrices sont destinées à aider les professionnels qui travaillent dans et pour les aires protégées, ainsi que les gardiens des aires conservées, à inclure la conservation et la gestion du géopatrimoine et de la géodiversité dans leur travail, à toutes les échelles – depuis le niveau du système jusqu'au niveau du site. Nous recommandons l'utilisation d'une définition simple de la **géoconservation** : « la conservation de la géodiversité pour sa valeur intrinsèque, écologique et relativement au géopatrimoine » (Sharples, 2002).

Ces Lignes directrices proposent des liens vers des conseils sur des sujets particuliers dans la collection des Lignes directrices des meilleures pratiques de la CMAP, et vers des études de cas du monde entier illustrant les meilleures pratiques dans la géoconservation.

De nombreux professionnels des aires protégées et gardiens des aires conservées ne sont pas des géoscientifiques, et peuvent trouver le langage et les concepts des sciences de la Terre difficiles à comprendre et à inclure dans leur travail. C'est compréhensible, car la terminologie est souvent complexe, les concepts sont assez différents de ceux de la conservation de la biodiversité (pour laquelle de nombreuses aires protégées ont été créées), et l'idée communément répandue est que les caractéristiques géologiques sont relativement statiques et n'ont besoin que de peu d'attention (Crofts, 2014). Pour ces raisons, le géopatrimoine et la géodiversité (tels que définis dans la Section 2.2) sont souvent ignorés dans la conservation et la gestion des aires protégées, alors qu'ils peuvent avoir une valeur élevée en tant que partie intégrante de la nature ; et ils doivent donc être compris et surveillés. En outre, la santé fonctionnelle de nombreuses aires protégées dépend de la compréhension des processus non-biologiques qui ont créé l'aire, qui fonctionnent au moment présent, et qui pourront influencer le futur. Enfin, il peut y avoir dans une aire protégée des caractéristiques géologiques significatives qui peuvent intéresser les visiteurs, mais qui peuvent également représenter des risques naturels importants (comme l'activité volcanique) devant donc être correctement abordés par le personnel de gestion.

Ces Lignes directrices sont destinées à améliorer la conservation et la gestion du géopatrimoine et de la géodiversité dans les aires protégées et conservées, et à reconnaître les interrelations et interactions avec les caractéristiques et processus biologiques. Elles n'ont pas vocation à être un manuel sur les pratiques de gestion de la géoconservation, mais plutôt à présenter le contexte et les principes de base ; à résumer les documents pertinents pour les rendre plus facilement accessibles aux utilisateurs en un seul volume ; et à fournir des liens vers la littérature et

les sources supplémentaires importantes, qui incluent des orientations pratiques détaillées. L'utilisation d'exemples de meilleures pratiques du monde entier devrait donner aux utilisateurs une confiance renforcée pour préserver le géopatrimoine et connecter la géoconservation avec la conservation de la biodiversité.

1.2 Utilisation des Lignes directrices

Il est peu probable que les utilisateurs aient besoin de lire les présentes Lignes directrices du début à la fin. Nous conseillons plutôt de les utiliser comme source de références pour des besoins particuliers et en fonction des circonstances concernant la géoconservation, lors de la création et de la gestion d'une aire protégée.

Ces Lignes directrices sont organisées en neuf sections (Tableau 1.1). Après les deux premières sections contextuelles importantes, elles offrent une progression, de la création d'un réseau d'aires protégées de géoconservation à l'échelle nationale ou régionale, jusqu'à la création d'aires protégées de géoconservation individuelles ou l'ajout d'une protection de la géoconservation à des aires protégées existantes, y compris la gestion et le suivi et les accords pour la sensibilisation du public (Schéma 1.1). Les gestionnaires d'aires protégées et conservées existantes peuvent aller directement à la Section 5. Nous recommandons néanmoins fortement à tous nos lecteurs de lire les Sections 2 et 3, car elles offrent un contexte essentiel dans le domaine de la géoconservation. Le Tableau 1.1 et le Schéma 1.1 permettent de trouver rapidement des sujets précis dans le document.

1.3 Sources additionnelles importantes

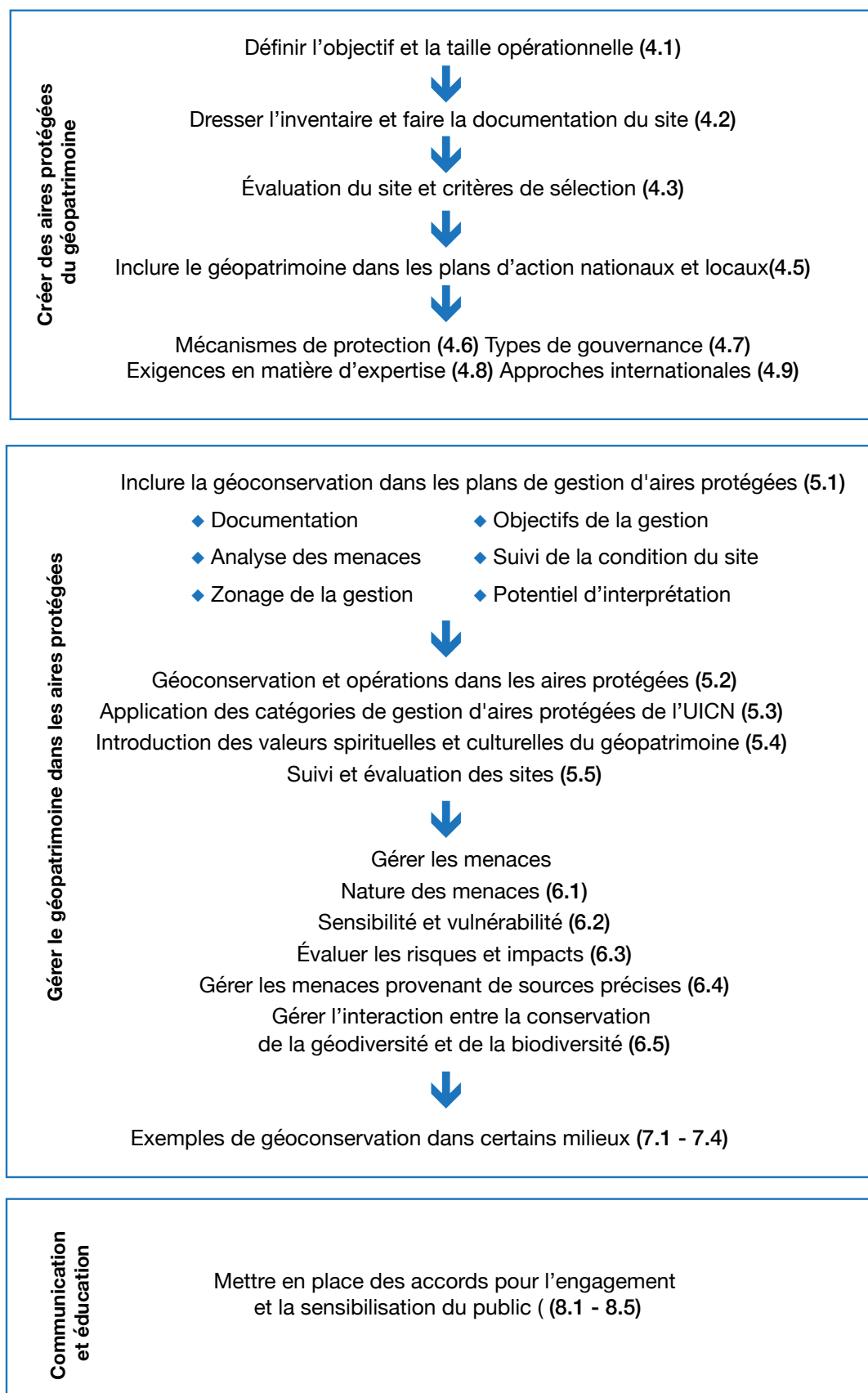
Plusieurs sources additionnelles importantes donnent une vue d'ensemble de la géoconservation dans les aires protégées. Crofts & Gordon (2014, 2015) proposent une introduction aux concepts, à la terminologie et aux liens entre géoconservation et conservation de la biodiversité, disponible gratuitement. Une réflexion plus complète de la géodiversité et du géopatrimoine, et leur évaluation, leur protection et leur gestion sont disponibles dans Gray (2013) et Reynard & Brilha (2018). Le journal *Geoheritage* est la référence internationale principale pour les articles relatifs à tous les aspects du géopatrimoine. La plupart des articles sont disponibles en accès libre, ou sont accessibles par ResearchGate.

Tableau 1.1 Structure et plan des Lignes directrices.

No	Section	Principaux sujets (sous-section)	pages
1	Objectif, contenu et utilisation des Lignes directrices	<ul style="list-style-type: none"> ■ Objectif (1.1) ■ Utilisation des Lignes directrices (1.2) ■ Sources additionnelles importantes (1.3) 	2 2 2
2	Définition du contexte : Principaux concepts et définitions	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pourquoi la géoconservation est-elle nécessaire ? (2.1) ■ Définition des principaux termes (2.2) ■ Valeurs du géopatrimoine et de la géodiversité (2.3) ■ Rôle de l'UICN dans la géoconservation (2.4) ■ Géoconservation et la définition de l'UICN des aires protégées et conservées (2.5) 	6 6 8 10 11
3	Appliquer les principes généraux de la géoconservation dans la gestion des aires protégées et conservées	<ul style="list-style-type: none"> ■ Principaux principes directeurs pour la géoconservation (3.1) 	14
4	Mettre en place la géoconservation dans les aires protégées et conservées	<ul style="list-style-type: none"> ■ Définir l'objectif et la taille opérationnelle (4.1) ■ Dresser un inventaire (4.2) ■ Déterminer les critères d'évaluation des sites (4.3) ■ Exemples d'inventaires du géopatrimoine et d'évaluations de site (4.4) ■ Inclure la géoconservation dans les plans d'actions nationaux, régionaux et locaux (4.5) ■ Mécanismes de protection (4.6) ■ Types de gouvernance (4.7) ■ Exigences en matière d'expertise (4.8) ■ Approches internationales en matière de géoconservation (4.9) 	22 24 25 29 29 32 32 32 32
5	Gérer le géopatrimoine dans les aires protégées et conservées	<ul style="list-style-type: none"> ■ Planifier la gestion (5.1) ■ Géoconservation et opérations dans les aires protégées (5.2) ■ Appliquer les catégories de gestion des aires protégées de l'UICN à la géoconservation (5.3) ■ Inclure les valeurs spirituelles et culturelles du géopatrimoine (5.4) ■ Suivre et évaluer les géosites (5.5) ■ Exemples de gestion de la géoconservation (5.6) 	40 50 50 52 57 58
6	Gérer les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées et conservées	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concepts de sensibilité et de vulnérabilité (6.1) ■ Principales menaces (6.2) ■ Gérer les menaces liées aux risques et impacts (6.3) ■ Gérer les menaces : orientations de meilleures pratiques sur les principaux sujets (6.4) ■ Gérer l'interaction entre la géodiversité et la conservation de la biodiversité (6.5) 	64 66 66 66 85
7	Gestion du géopatrimoine dans certaines situations	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aires protégées et conservées du programme Grottes et karsts (7.1) ■ Aires protégées et conservées glaciaires et périglaciaires (7.2) ■ Sites paléontologiques et minéraux (7.3) ■ Aires protégées et conservées volcaniques (7.4) 	88 91 100 104
8	Éducation et communication pour la géoconservation	<ul style="list-style-type: none"> ■ Interprétation (8.1) ■ Éducation (8.2) ■ Sensibilisation du public (8.3) ■ Communiquer grâce aux nouveaux médias numériques (8.4) ■ Communiquer grâce aux médias traditionnels (8.5) 	111 111 114 117 119
9	Vue d'ensemble	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résumé des principaux points 	121

Schéma 1.1. Principales étapes pour créer et gérer des aires protégées de géoconservation, et principaux sujets abordés dans les présentes Lignes directrices.

Concepts, définitions et principes de la géoconservation (Sections 2 et 3)



Définir le contexte de la géoconservation dans les aires protégées et conservées : principaux concepts et définitions

2



Le Siccar Point en Écosse est un site essentiel dans la découverte scientifique sur la formation de la Terre. Ce site d'intérêt scientifique spécial est protégé du fait des formations rocheuses que James Hutton a découvertes en 1788, et rapportées dans son traité de 1795, *Théorie de la Terre*. La jonction entre des strates de grès rouges datées du Dévonien et des strates plus jeunes du Silurien, avec de nombreux cycles d'érosion et de dépôt entre les deux, indique l'immensité des temps géologiques. Les personnes sur la photo sont Graeme L. Worboys (droite) et John Gordon (gauche) ; tous deux auteurs du présent ouvrage. © Roger Crofts

Cette section propose du matériel contextuel pour la géoconservation dans les aires protégées. Elle répond aux points suivants :

- Pourquoi la géoconservation est-elle nécessaire (2.1)
- Définition des principaux termes (2.2)
- Principales valeurs de la géoconservation (2.3)
- Rôle de l'UICN dans la géoconservation (2.4)
- La géoconservation dans la définition de l'UICN d'une aire protégée (2.5)

2.1 Pourquoi la géoconservation est-elle nécessaire ?

On croit souvent que les roches et les reliefs du terrain sont assez solides et ne peuvent pas changer ou être abîmés par les activités humaines, et qu'ils n'ont donc pas besoin de mesures particulières pour leur conservation. Ce n'est pas le cas, car ils sont soumis aux menaces naturelles et humaines. La géodiversité et le géopatrimoine font sans aucun doute partie du patrimoine naturel de la Terre, mais comparés à la biodiversité, leur conservation et leur gestion n'ont commencé que récemment à faire l'objet d'une action plus structurée. Plusieurs raisons expliquent ce déséquilibre (Crofts, 2014, 2018). Il n'existe pas d'équivalent à la Convention sur la diversité biologique pour la géoconservation ou la géodiversité, même s'il existe quelques accords et conventions internationales, comme la Convention sur le patrimoine mondial de l'UNESCO et le programme Géoparcs mondiaux de l'UNESCO, qui incluent tous deux la géoconservation. La société civile est malheureusement peu consciente de l'importance de protéger les principales caractéristiques et processus géologiques et géomorphologiques pour leurs valeurs en matière de géopatrimoine, et du rôle de la géodiversité pour soutenir la biodiversité et les services et fonctions écosystémiques.

2.2 Définitions de la géodiversité, du géopatrimoine et de la géoconservation

Avec l'évolution des pratiques en matière de géoconservation, plusieurs termes et définitions ont été introduits. Pour des raisons de clarté, de cohérence et de simplicité, et pour favoriser la communication, nous recommandons l'utilisation de la terminologie suivante (Crofts & Gordon, 2014, 2015).

On appelle **géodiversité** la variété de roches, minéraux, fossiles, reliefs de terrain, sédiments et sols, ainsi que les processus naturels qui les forment et les altèrent. Cela inclut les caractéristiques et processus géologiques et géomorphologiques passés et présents qui retracent l'histoire de la Terre et l'évolution des formes de vie, tels que représentés dans l'histoire géologique, y compris les plantes, les animaux et leurs habitats. Les éléments de la géodiversité donnent les bases de la vie sur Terre, et maintiennent le capital naturel et les services écosystémiques.

On appelle **géopatrimoine** les éléments et caractéristiques de la géodiversité de la Terre, soit seuls ou en combinaison, considérés comme ayant une valeur significative pour des raisons intrinsèques, scientifiques, éducatives, culturelles, spirituelles, esthétiques, écologiques ou écosystémiques, et qui en conséquence méritent d'être conservés. Le géopatrimoine constitue un héritage du passé, devant être conservé dans le

présent et transmis pour le bénéfice des générations futures. Le géopatrimoine enregistre l'histoire cumulative de la Terre, préservée dans ses roches et reliefs, comme dans les pages d'un livre, même si elle est fragmentée et qu'il manque quelques pages. Il est représenté dans des lieux particuliers (les *géosites*, voir définition plus bas) et des objets particuliers (spécimens *in situ* et collections de musées), qui sont fondamentaux pour notre connaissance de l'histoire de la Terre et l'évolution de la vie. La base philosophique sous-jacente est définie dans la Déclaration de Digne des droits de la mémoire de la Terre (Encadré 2.1), qui expose une approche basée sur les droits pour le géopatrimoine, et fonde les Géoparcs mondiaux de l'UNESCO.

Il est important d'apprécier la gamme de caractéristiques qui composent le géopatrimoine *in situ*. Citons :

- Les affleurements rocheux qui sont uniques ou représentatifs de processus ou d'étapes géologiques particulières dans l'évolution de la Terre, à l'échelle mondiale ou dans des régions particulières ;
- Des reliefs de terrain uniques, classiques, ou des formes représentatives issues de processus particuliers dans le présent ou le passé (par ex. époque glaciaire) ;
- Des systèmes actifs (par ex. fleuves, déserts, glaciers et sols) ; ou
- Un mélange de toutes ces composantes.

Le géopatrimoine dans les aires protégées peut donc exister à diverses échelles, depuis des petites caractéristiques individuelles, comme des affleurements rocheux ou des blocs erratiques transportés sur de longues distances par les glaciers (par ex. la Pierre à Dzo, Monthey, Suisse), jusqu'à des paysages entiers, comme les chaînes de montagnes composées d'assemblages de roches, reliefs et sols (par ex. le Parc national de Los Glaciares, Argentine) ou des réseaux volcaniques qui hébergent des microhabitats extrêmement divers (par ex. la Caldeira de Yellowstone, États-Unis, et l'écosystème du grand Yellowstone, y compris sa mégafaune emblématique et ses espèces qui peuplent les sources chaudes). La seule limite pour la taille du site est établie par l'unité de gestion et le système de gestion.

Il est facile d'être un peu perdu sur ce qu'est une aire protégée de géoconservation. Elle peut comprendre une seule caractéristique de valeur ou représentative d'un processus naturel passé ou présent, sans avoir besoin d'une diversité de caractéristiques ou de formes. Par exemple, une séquence épaisse de calcaires en eau profonde apparemment monotone peut sembler relativement uniforme, mais peut toutefois représenter une partie importante de l'évolution géologique d'une région particulière ou de l'évolution

Encadré 2.1

La Déclaration de Digne

Déclaration Internationale des droits de la mémoire de la Terre

1. Chaque Homme est reconnu unique, n'est-il pas temps d'affirmer la présence et l'unicité de la Terre ?
2. La Terre nous porte. Nous sommes liés à la Terre et la Terre est lien entre chacun de nous.
3. La Terre vieille de quatre milliards et demi d'années est le berceau de la Vie, du renouvellement et des métamorphoses du vivant. Sa longue évolution, sa lente maturation ont façonné l'environnement dans lequel nous vivons.
4. Notre histoire et l'histoire de la Terre sont intimement liées. Ses origines sont nos origines. Son histoire, est notre histoire et son futur sera notre futur.
5. Le visage de la Terre, sa forme, sont l'environnement de l'Homme. Cet environnement est différent de celui de demain. L'homme est l'un des moments de la Terre ; il n'est pas finalité, il est passage.
6. Comme un vieil arbre garde la mémoire de sa croissance et de sa vie dans son tronc, la Terre conserve la mémoire du passé... une mémoire inscrite dans les profondeurs et sur la surface, dans les roches, les fossiles et les paysages, une mémoire qui peut être lue et traduite.
7. Aujourd'hui les Hommes savent protéger leur mémoire : leur patrimoine culturel. A peine commence-t-on à protéger l'environnement immédiat, notre patrimoine naturel.
8. Le passé de la Terre n'est pas moins important que le passé de l'homme. Il est temps que l'Homme apprenne à protéger et, en protégeant, apprenne à connaître le passé de la Terre, cette mémoire d'avant la mémoire de l'Homme qui est un nouveau patrimoine : le patrimoine géologique.
9. Le patrimoine géologique est le bien commun de l'Homme et de la Terre. Chaque Homme, chaque gouvernement n'est que le dépositaire de ce patrimoine. Chacun doit comprendre que la moindre déprédation est une mutilation, une destruction, une perte irréversible. Tout travail d'aménagement doit tenir compte de la valeur et de la singularité de ce patrimoine.
10. Les participants du 1er Symposium international sur la protection du patrimoine géologique, composé de plus d'une centaine de spécialistes issus de trente nations différentes, demandent instamment à toutes les autorités nationales et internationales de prendre en considération et de protéger le patrimoine géologique au moyen de toutes les mesures juridiques, financières et organisationnelles.

Source : http://www.progeo.ngo/downloads/DIGNE_DECLARATION.pdf

de la vie sur Terre. De même, une couche spéciale de roches peut cacher une riche diversité de formes de vie fossiles qui ne sont pas toujours visibles à l'œil nu, mais qui peuvent être une caractéristique cruciale d'une section ou localité de référence importante à l'échelle internationale pour une phase ou un changement précis de l'évolution.

De même, une aire protégée peut inclure certaines caractéristiques du géopatrimoine, mais avoir été créée principalement pour d'autres raisons, autres que la géoconservation. D'un autre côté, elle peut abriter une grande variété de caractéristiques, de formes et de processus importants en matière de géoconservation. Toutes ces variations sont valables, et il est donc essentiel de veiller à ce que les critères de sélection d'une aire protégée de géoconservation, ou la gestion du géopatrimoine dans les aires protégées, soient explicites. Les principes directeurs sont donnés dans la Section 3 et des orientations plus détaillées sur les critères de sélection sont donnés dans la Section 4.

Il est important de souligner que les caractéristiques du géopatrimoine doivent avoir une valeur géologique ou géomorphologique spéciale (Section 2.3). Il y a cependant d'autres cas où les caractéristiques géologiques ou géomorphologiques ne sont pas exceptionnelles en elle-même, mais sont importantes pour le patrimoine culturel ou archéologique (par ex. une grotte avec des peintures ou des fossiles d'hominidés).

Les sites ou les zones ayant une valeur élevée pour le géopatrimoine peuvent exister dans toute la gamme de catégories d'aires protégées de l'UICN, soit comme intérêt principal soit comme composante au sein d'un assemblage plus vaste de caractéristiques naturelles (voir Section 5.4).

La **géoconservation** est définie comme « la conservation de la géodiversité pour sa valeur intrinsèque, écologique et relativement au géopatrimoine » (Sharples, 2002). Globalement, on dénomme géoconservation dans les aires protégées la pratique de conserver, mettre en valeur et promouvoir la sensibilisation autour de la géodiversité et du géopatrimoine. La géoconservation a donc surtout à voir avec la conservation des caractéristiques et/ou éléments qui ont une valeur géologique ou géomorphologique spéciale. La géoconservation peut favoriser la préservation de la biodiversité, le fonctionnement d'écosystèmes en bonne santé, ainsi que la conservation du géopatrimoine.

On utilise le terme **géosite** pour parler de tout site ayant une caractéristique unique, ou une variété de caractéristiques et processus géologiques ou géomorphologiques, dignes d'être protégés au nom de leur valeur scientifique (Brilha, 2018a). Le terme « géosites » est le raccourci pour parler de sites géologiques ou de sites géomorphologiques.

Pour résumer, une hiérarchie de termes est utilisée dans le présent ouvrage : la **géodiversité** est la totalité de la nature abiotique,

dont certains éléments ont une valeur significative exigeant une conservation ; ils sont appelés **géopatrimoine**, lequel est géré dans les géosites, qui sont soit officiellement des aires protégées soit des aires conservées, regroupés sous l'étiquette de **géoconservation**.

L'objectif global de la **géoconservation dans les aires protégées et conservées** est de **conserver le géopatrimoine** et la **géodiversité** situés dans les **géosites**. L'activité est la gestion de la géoconservation dans les aires protégées de géoconservation, ou est une composante de la gestion des aires protégées dans des sites ayant d'autres finalités.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°1 : Pour éviter toute confusion, utiliser de façon cohérente les définitions du géopatrimoine, de la géodiversité, de la géoconservation, des aires protégées de géoconservation, et des géosites.

2.3 Valeurs du géopatrimoine et de la géodiversité

Le géopatrimoine et la géodiversité ne sont pas des sujets tangibles, mais ils reposent sur des valeurs importantes. Cinq valeurs essentielles de la géoconservation sont présentées pour garantir que toutes les facettes de la géoconservation sont comprises et reconnues dans la pratique.

Tout d'abord, le géopatrimoine est important pour des raisons éthiques : c'est sa **valeur intrinsèque**. Trop souvent dans notre passé récent, nous nous sommes focalisés exclusivement sur l'utilité de la diversité pour la société. Cependant, on peut amplement justifier la protection de notre géopatrimoine pour des raisons éthiques, juste parce qu'il existe : **pour son propre bien**. Cette raison est cohérente avec la responsabilité de notre société de conserver la nature et sous-tend la Déclaration de Digne.

Deuxièmement, il est important de protéger le géopatrimoine en tant que **ressource scientifique et éducative** contribuant à la connaissance de l'évolution de la Terre. Par exemple, la discordance de Hutton, à Siccar Point, Berwickshire, Écosse, est l'un des principaux sites où James Hutton, le « père de la géologie moderne », a avancé sa théorie de la Terre encapsulée dans sa déclaration hors du temps, où « nous ne voyons aucun vestige de début – aucune perspective de fin » (voir photo de frontispice). De même, les fossiles dans les schistes de Burgess, retrouvés dans les Parcs nationaux de Yoho et Kootenay, en Colombie-Britannique, Canada, offrent un aperçu exceptionnel de l'évolution des formes complexes de vie sur Terre il y a plus de 500 millions d'années.

Troisièmement, le géopatrimoine dans les aires protégées peut être important pour des raisons de **patrimoine esthétique, culturel et spirituel** (Verschuuren et al., (2021)). Cela peut inclure des communautés qui s'identifient entièrement avec leur géopatrimoine local, par ex. la montagne Triglav, dans le Parc national du même nom en Slovénie, et qui est représentée sur le drapeau national, ou le mont Fuji, véritable symbole culturel au Japon. Certains sites aux caractéristiques géologiques importantes, comme les Parcs nationaux de Yosemite et de Yellowstone aux États-Unis, ont une importance culturelle et éducative du fait de leur rôle dans le développement de la pensée et de l'action autour des aires protégées. D'autres ont une importance pour des raisons esthétiques, ou pour les activités récréatives ou touristiques. Enfin, il y a de nombreux sites sacrés, comme les monastères chrétiens des Météores, Grèce ; et de nombreux sites essentiels pour l'histoire culturelle, comme les grottes aux peintures rupestres de KwaZulu-Natal, Afrique du Sud, qui montrent le lien étroit entre géopatrimoine et patrimoine culturel et spirituel.



Photo 2.1 Le cratère de Ngorongoro, aire de conservation de Ngorongoro, République unie de Tanzanie, est un bon exemple de valeur intrinsèque : c'est le cratère d'un volcan éteint de taille importante qui abrite également une abondante faune native. © Roger Crofts



Photo 2.2. Le site des schistes de Burgess, Parc national de Yoho, Colombie-Britannique, Canada, est un exemple de site ayant permis d'améliorer les connaissances sur l'évolution de la vie sur Terre il y a environ 500 millions d'années, à l'époque de l'explosion Cambrienne. Une guide d'interprétation de Parks Canada tient un grand spécimen de fossile à la carrière de Walcott, Parc national de Yoho, Canada © Parks Canada Ryan Creary



Photo 2.3. Art rupestre au Parc national de Royal Natal, KwaZulu-Natal, Afrique du Sud, illustrant l'utilisation de sites naturels abrités pour communiquer symboliquement dans les temps anciens. © Sue Stolton



Photo 2.4. Le Parc archéologique et site du patrimoine mondial de Petra, Jordanie, illustre bien l'utilisation de matériaux naturels in situ. Des roches de grès multicolores ont été creusées pour construire plusieurs types de bâtiments (temples, tombes, bâtiments publics) au cours des siècles de présence nabatéenne et grecque. © José Brilha

Le géopatrimoine et le patrimoine culturel peuvent également être liés de nombreuses autres façons ; citons par exemple les formations rocheuses tendres qui forment le décor des villes troglodytes des sites du patrimoine mondial de Petra, Jordanie, et de Vardzia, Géorgie.

Quatrièmement, la géodiversité a un **rôle écologique** important pour soutenir la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. La diversité des substrats, des mosaïques topographiques et des formations du sol, ainsi que des processus comme les régimes hydriques, l'apport en sédiments, l'érosion et les dépôts, servent de base aux habitats et aux espèces, et au fonctionnement des écosystèmes. Dans de nombreux environnements, les schémas complexes de topographie de l'échelle micro à macro, les processus des sols et géomorphologiques, et les régimes de perturbation, fournissent des conditions idéales pour une richesse élevée d'espèces et une mosaïque d'habitats diverse.

La relation entre les éléments de géodiversité et biodiversité est essentielle au concept d'écosystèmes. La nouvelle expression « conserver la scène de la nature » fait référence à une faune et flore (les acteurs) prospérant sur la géodiversité (la scène). En gros, la conservation de la biodiversité est mieux assurée lorsque l'on conserve la scène, surtout à une époque de changement climatique, où devoir relocaliser une gamme d'habitats pour les plantes et les animaux peut être crucial pour leur survie (Anderson & Ferree, 2010 ; Gross et al., 2016).

Cinquièmement, la géodiversité est une composante essentielle des écosystèmes, et plus précisément elle offre de nombreux **biens environnementaux et services écosystémiques**, qui sont les bénéfices directs et indirects que les humains reçoivent

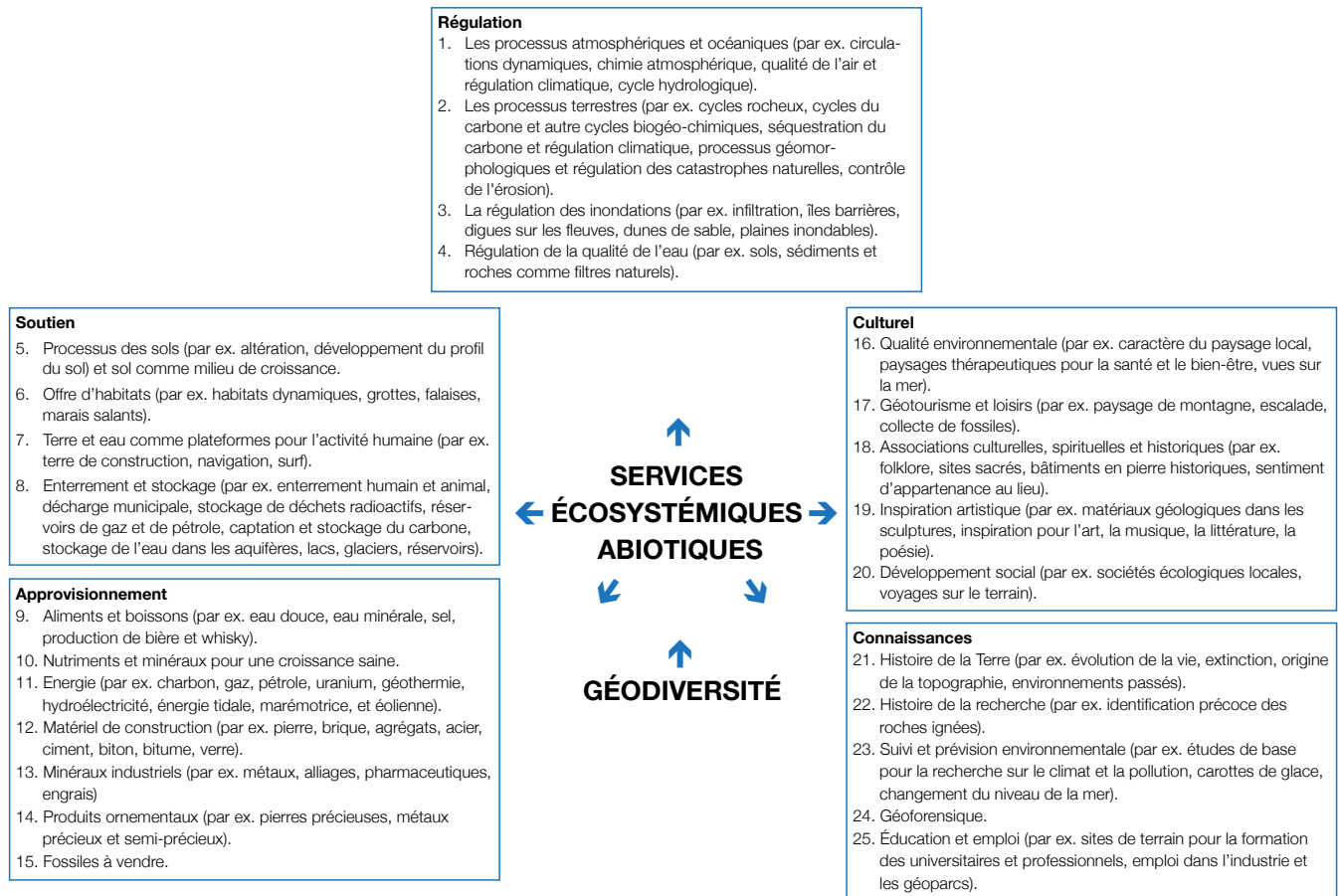
du milieu naturel et d'écosystèmes fonctionnant correctement (Schéma 2.1 ; Tableau 2.1). Pour soutenir l'offre de ces services, les gestionnaires doivent travailler avec la nature plutôt que contre elle, et chercher à préserver les systèmes et processus naturels, ce qui est le rôle fondamental des aires protégées. Cela signifie également que tous les éléments des écosystèmes doivent être appréhendés comme un tout, plutôt que de prendre en compte seulement la biodiversité ou la géodiversité par exemple. Autrement dit, nous devons penser aux services de la nature, ou à la contribution de la nature pour les humains (Díaz et al., 2018). L'approche intégrée pour les écosystèmes ne fait aucun doute, telle que définie dans l'article 2 de la Convention sur la diversité biologique : « On entend par **écosystème** le complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle. » Neugarten et al. (2018) est à cet égard un recueil utile.

2.4 Rôle de l'UICN dans la géoconservation

L'UICN joue un rôle de poids dans la géoconservation depuis plusieurs décennies, notamment par son rôle en tant qu'organisme consultatif statutaire sur le patrimoine naturel auprès du Comité du Patrimoine mondial de l'UNESCO. La Convention sur le patrimoine mondial reconnaît le géopatrimoine comme faisant partie intégrante de la valeur universelle exceptionnelle des sites du patrimoine mondial, notamment le critère (viii) du patrimoine mondial, qui est explicitement lié au géopatrimoine (voir Section 4.8 (i)).

Ces dernières années, le mandat de l'UICN pour la géoconservation s'est accru de deux façons : d'abord, les *Lignes directrices pour l'application des catégories*

Schéma 2.1. Services écosystémiques depuis une perspective de géodiversité



Source : Gray, 2018.

de gestion aux aires protégées de la CMAP de l'UICN énoncent clairement que toutes les aires protégées doivent chercher, lorsqu'approprié, à « conserver les caractéristiques topographiques, la géomorphologie et la géologie » (Dudley, 2008). Deuxièmement, les résolutions approuvées lors des trois derniers Congrès mondiaux de la nature de l'UICN placent la géoconservation dans le programme de l'Union (UICN, 2008, 2012, 2016a). Les résolutions 4.040 de 2008 et 5.048 de 2018 affirment que la géodiversité fait partie de la diversité naturelle et que le géopatrimoine fait partie du patrimoine naturel. La résolution 6.083 de 2016 encourage et soutient les initiatives nationales et internationales axées sur la conservation et l'utilisation durable du géopatrimoine déplaçable (par ex. fossiles, météorites et bombes volcaniques). Ensemble, toutes ces résolutions représentent un repère dans la reconnaissance du rôle intégratif et pertinent du géopatrimoine et de la géodiversité, qui doit également être pris en compte dans la planification, la conception, la gouvernance et la gestion des aires protégées.

2.5 Géoconservation et la définition de l'UICN d'une aire protégée et d'une aire conservée

L'UICN définit une aire protégée comme :

« un espace géographique clairement défini, reconnu, dédié et géré, par des moyens légaux ou autres, afin de favoriser la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et des valeurs culturelles qui y sont liés. » (Dudley, 2008).

Les principaux points pour la géoconservation sont :

- « la conservation à long terme de la nature », y compris la géoconservation ;
- les roches et minéraux souterrains, ainsi que les caractéristiques en surface, sont incluses ;
- les gestionnaires peuvent, dans la pratique, décider de ne rien faire pour garder les processus à l'état naturel ;
- les gestionnaires doivent s'assurer que les caractéristiques du géopatrimoine ne sont pas endommagées et que le processus qui les forme n'est pas abîmé ; et
- les gestionnaires doivent prendre en compte la géoconservation et la conservation de la biodiversité ensemble.

L'UICN reconnaît également l'existence d'aires conservées, c'est à dire des aires qui ne sont pas protégées et dont la conservation n'est peut-être pas l'objectif principal, mais qui néanmoins conservent la nature sur le long terme (Groupe de travail sur les AMCE de la CMAP-UICN, 2020). La Convention sur la diversité biologique définit également les AMCE comme : « une zone géographiquement délimitée, autre qu'une aire protégée, qui est réglementée et gérée de façon à obtenir des résultats positifs et durables à long terme pour la conservation in situ de la diversité biologique, y compris des fonctions et services écosystémiques connexes et, le cas échéant, des valeurs culturelles, spirituelles,

2. Définir le contexte de la géoconservation dans les aires protégées et conservées : principaux concepts et définitions

Tableau 2.1 Exemples de biens et services fournis par la géodiversité dans la région littorale de l'État de São Paulo, Brésil.

Écosystème	Régulation	Soutien	Approvisionnement	Culturel	Connaissances
Plateau du Brésil du Sud	<ul style="list-style-type: none"> ■ Circulation océanique encouragée par les reliefs marins ■ Régulation climatique mondiale et stockage du carbone par les sédiments marins 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Partie du cycle hydrologique ■ Offre d'habitats pour des espèces d'animaux et de plantes 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Offre d'aliments, en offrant des habitats à des espèces maritimes comestibles ■ Approvisionnement en pétrole et en gaz 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Activités récréatives et tourisme sur les îles côtières, les rivages rocheux, les plages, les sentiers, les chutes d'eau ■ Sentiment d'appartenance au lieu et valeurs spirituelles, surtout pour les communautés traditionnelles ■ Promotion du travail bénévole sur la conservation de la nature dans des ONG et autres institutions s'occupant de la forêt Atlantique et des milieux marins ■ Santé et bien-être encouragés 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Recherche scientifique pour plusieurs branches des géosciences, et les sujets côtiers et marins ■ Ressources de terrain pour les étudiants en géosciences ■ Registres des climats passés ■ Éducation sur les géosciences
Rivage rocheux	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cycle du carbone à long terme régulé par l'érosion chimique des roches silicatées 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Habitats pour diverses espèces ■ Points d'ancrage ■ Fondations pour les bâtiments ■ Abris pour les cités antiques 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Production alimentaire naturelle et cultivée 		
Dunes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Infiltration d'eau et recharge des aquifères, et dans le cadre du cycle hydrologique ■ Contrôle de la qualité de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contrôle et stockage de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Croissance d'espèces de plantes spécifiques liées aux sédiments sableux 		
Mangrove	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stockage de carbone bleu ■ Contrôle et stockage de l'eau ■ Dissipation de l'énergie marémotrice 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Partie du cycle hydrologique ■ Habitats pour diverses espèces 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abri ou nourricerie terrestre ou transitionnelle ■ Production alimentaire naturelle et cultivée 		
Plage	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contrôle de l'érosion ■ Dissipation de l'énergie marémotrice et protection du rivage 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rétention naturelle et transport des sédiments ■ Filtration de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pêche 		
Estuaire et lagon	<ul style="list-style-type: none"> ■ Régulation des catastrophes naturelles grâce au contrôle de l'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Partie du cycle hydrologique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Refuge et/ou nourricerie marine ■ Production alimentaire naturelle et cultivée 		
Plaine côtière	<ul style="list-style-type: none"> ■ Contrôle de l'érosion ■ Recharge des aquifères 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Végétation de repos typique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Refuge ou nourricerie terrestre ou transitionnelle 		
Rivière	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flux hydrique et régulation des inondations ■ Drainage ■ Participation dans le cycle de l'eau et la circulation de l'océan 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Partie du cycle hydrologique ■ Voies fluviales pour le transport 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Approvisionnement en eau par plusieurs bassins versants ayant leurs sources dans la Serra do Mar et sur le plateau de l'Atlantique ■ Exploitation du sable ■ Approvisionnement en énergie à partir des centrales hydroélectriques 		
Serra do Mar	<ul style="list-style-type: none"> ■ Régulation du climat local grâce à la chaîne de montagnes de la Serra do Mar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Formation du sol, en soutien à la végétation de la forêt Atlantique et à la culture de la banane 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Roches, saprolites et sables comme matériaux de construction et de décoration. 		

Source : Garcia, 2019.

socioéconomiques et d'autres valeurs pertinentes localement » (décision 14/8 de la CDB).

Il convient de remarquer que la plupart des aires qui se qualifient comme AMCE n'ont pas encore été identifiées et incluses dans les bases de données nationales ou internationales. En outre, alors que les AMCE sont définies dans le contexte de la CDB, il peut également y avoir des aires conservées par des autorités autonomes chargées de la gouvernance (communautés locales, populations autochtones, premières nations, etc.) qui ne souhaitent pas être reconnues dans le cadre de la définition de la CDB, ou bien certains États qui ne leur accordent pas cette reconnaissance. Ces aires conservées contribuent néanmoins aux résultats à long terme de la conservation de la biodiversité *in situ* (Borini- Feyerabend

and Hill, 2015), et doivent être incluses dans le champ d'intérêt des présentes Lignes directrices.

Les présentes Lignes directrices peuvent donc être appliquées pour les aires protégées, les AMCE, et les autres aires conservées, car de nombreux sites pour le géopatrimoine peuvent se retrouver dans ces différentes formes de gouvernance de la nature. En effet, de nombreux territoires et aires conservées par les populations autochtones et communautés locales peuvent être fondés sur des valeurs du géopatrimoine ayant une signification culturelle et spirituelle.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°2 : Ces Lignes directrices doivent être appliquées aux autres mécanismes de conservation efficaces et autres « aires conservées », ainsi qu'aux aires protégées.

Appliquer les principes généraux de la géoconservation dans la gestion des aires protégées et conservées

3



Cette section décrit les neuf principes généraux qui doivent aussi bien renseigner la création de nouvelles aires protégées et conservées de géoconservation que la gestion des aires existantes.

Ces principes s'appliquent à la protection de la géodiversité et du géopatrimoine dans toute la gamme des catégories de gestion d'aires protégées de l'UICN, y compris celles où le géopatrimoine n'est pas le principal objectif de l'aire.

3.1 Principes généraux

Plusieurs principes généraux de géoconservation doivent sous-tendre l'ensemble de la gestion des aires protégées et conservées (Tableau 3.1). Ces principes doivent être inclus dans les plans d'action de géodiversité nationaux, régionaux et locaux lorsqu'ils existent, et dans le réseau et les plans de gestion des aires protégées en général. Des applications spécifiques dans les plans de gestion des aires protégées de géoconservation doivent correspondre aux conditions locales, ainsi qu'à la législation et aux systèmes de gestion locaux. Les principes s'appliquent également à la gestion des aires protégées dans toutes les catégories de gestion d'aires protégées de l'UICN, même lorsque le géopatrimoine n'est pas l'objectif principal de l'aire. La géoconservation doit faire partie intégrante du plan de gestion (Sections 5.1, 5.2 et 5.3).

Principe 1 : Les valeurs multiples du géopatrimoine et de la géodiversité doivent être reconnues

La conservation de toutes les valeurs de la géodiversité et du géopatrimoine identifiées dans la Section 2.3 doit faire partie intégrante de la gestion de l'aire protégée.

Principe 2 : Une géoconservation efficace exige une approche rigoureuse et systématique pour tous les aspects de l'identification, de l'évaluation, de la gestion et du suivi du site.

Des inventaires des intérêts du géopatrimoine et une évaluation de leurs valeurs sont nécessaires, et seront suivies d'une gestion efficace de la conservation, d'un

suivi, et lorsqu'approprié, d'une interprétation et d'une communication auprès des parties prenantes afin de renforcer la sensibilisation et l'éducation. Les objectifs clairs de gestion doivent être personnalisés correctement pour les différentes catégories d'aires protégées de géoconservation, en reconnaissant les différentes exigences des sites « d'exposition », « d'intégrité », et « finis » (Section 5.2). La protection de l'intérêt du géopatrimoine est normalement l'objectif principal, mais des objectifs complémentaires, comme le géotourisme et la conservation de la biodiversité, peuvent être inclus lorsqu'ils n'entrent pas en conflit. Le suivi périodique de la condition des aires protégées de géoconservation est essentiel pour définir la condition et l'état des caractéristiques présentant un intérêt ; que celles-ci soient changeantes ou pas, et si oui, comment ; et que les objectifs de conservation soient atteints ou pas (Section 5.5).

Principe 3 : La gestion des systèmes naturels doit « travailler avec la nature », permettant ainsi aux processus naturels de fonctionner sur toute leur gamme de variabilité.

On se préoccupe aujourd'hui de plus en plus de la valeur des solutions fondées sur la nature, et l'UICN et d'autres acteurs mettent en avant le rôle que jouent des écosystèmes en bonne santé pour répondre aux défis mondiaux existants et émergents, comme le changement climatique, la réduction des risques de catastrophes, la sécurité alimentaire et hydrique, et la santé et le bien-être humain (Cohen-Shacham et al., 2016 ; Griscom et al., 2017 ; UICN, 2020). Autant que possible, les systèmes et les processus naturels (par ex. les régimes de flux dans les courants)

Tableau 3.1 Principaux principes directeurs pour la géoconservation dans la gestion des aires protégées.

1.	Les valeurs multiples du géopatrimoine et de la géodiversité doivent être reconnues.
2.	Une géoconservation efficace exige une approche rigoureuse et systématique pour tous les aspects de l'identification, de l'évaluation, de la gestion et du suivi du site.
3.	La gestion des systèmes naturels doit « travailler avec la nature », permettant ainsi aux processus naturels de fonctionner sur toute leur gamme de variabilité.
4.	Les processus et systèmes naturels doivent se baser sur une compréhension solide, et être gérés selon une approche spatiale intégrée.
5.	Les stratégies de géoconservation doivent inclure l'évaluation de la vulnérabilité et des risques.
6.	L'inévitabilité du changement naturel doit être reconnue.
7.	Les effets du changement climatique mondial doivent être évalués et combattus dans la mesure du possible.
8.	Les systèmes naturels doivent être gérés dans les limites de leurs capacités à absorber le changement.
9.	L'interaction et l'interdépendance de la géodiversité, de la biodiversité et du patrimoine culturel doivent être reconnues.

Source : adapté de Crofts et Gordon (2014, 2015).



Photo 3.1. La forêt de karst de Shilin, dans la province de Yunnan, fait partie du site du patrimoine mondial Karst de Chine du Sud, et est un Géoparc mondial de l'UNESCO. Ces pics et paysages karstiques spectaculaires sont d'une qualité esthétique et d'une valeur culturelle exceptionnelles, célébrées dans la poésie, la peinture, le folklore et les coutumes locales, et sont un bien important pour le géotourisme. © John Gordon



Photo 3.2. Le cap Mondego, Portugal, est un géosite valorisé pour l'éducation et le géotourisme au sein d'un Monument national. © José Brilha



Photo 3.3. La suppression des mangroves pour la culture rend les zones côtières plus vulnérables à l'érosion, comme dans cette zone au nord de Guayaquil, Équateur. © Roger Crofts



Photo 3.4. La restauration de la mangrove sur l'île de Cat Ba, au large du Vietnam, vise à restaurer la végétation naturelle, afin de protéger les habitats et les terres de l'érosion de la mer. © Nigel Dudley



Photo 3.5. L'extraction de sables et de graviers d'un esker protégé de la période glaciaire, en Écosse, a détruit de façon permanente l'intégrité du relief. © P & A Macdonald/SNH

doivent être autorisés pour maintenir les taux et les amplitudes de changements naturels, et leur capacité à évoluer sans interruption dans la plupart ou la totalité de leur gamme de variabilité. Si une intervention est essentielle, les solutions qui travaillent en harmonie avec les processus naturels sont plus durables d'un point de vue environnemental et plus efficaces que d'essayer d'imposer des solutions fabriquées par l'homme qui cherchent à contrôler ou à stopper les processus naturels. Par exemple, le long des rivages, les structures fixes de bâtiments pour juguler la perte des sédiments peuvent appauvrir les plages voisines, les dunes et les marais salants, et leurs habitats associés. Il vaut mieux à la place utiliser des approches alternatives, comme la reconstitution de plages, un réalignement géré, ou l'utilisation d'infrastructures « vertes » pour renforcer les formes naturelles de défense, comme les dunes de sable, les marais salants ou les mangroves (Temmerman et al., 2013; Pontee et al., 2016).

Principe 4 : Les processus et systèmes naturels doivent se baser sur une compréhension solide, et être gérés selon une approche spatiale intégrée.

La gestion de la conservation des systèmes actifs doit être basée sur une compréhension solide des processus abiotiques sous-jacents. Cela inclut, par exemple, la compréhension de la dynamique de la circulation des sédiments côtiers (érosion et dépôts, y compris les sources, voies de transport et puits) au sein des unités côtières individuelles (cellules côtières) dans la préparation des plans

de gestion des rivages ; l'intégration des processus des rivières, sols et pentes dans les plans de gestion des bassins hydrographiques ; et le suivi des processus actifs.

Il convient d'éviter la gestion d'une partie d'un système naturel isolément des autres éléments du système. Par exemple, le long d'une côte ou dans une zone montagneuse ou un bassin versant, la gestion doit reconnaître les effets de la connectivité et les dépendances entre les différentes parties du système à l'échelle du paysage (par ex. la dépendance des plages et des langues de sable vis-à-vis de l'approvisionnement en sédiments des rivières, du littoral ou de sources offshore, ou les conséquences pour les habitats en aval des changements dans les transferts de sédiments entre les pentes et les canaux de la rivière en amont) (Bruneau et al., 2011). Plus généralement, une gestion spatialement connectée doit reconnaître les schémas de géodiversité et les liens avec la biodiversité et les services écosystémiques dans le cadre de la conservation à l'échelle du paysage (Anderson et al., 2014 ; Theobald et al., 2015 ; Zarnetske et al., 2019 ; Hilty et al., 2020).

Principe 5 : Les stratégies de géoconservation doivent inclure l'évaluation de la vulnérabilité et des risques.

La gestion de la géoconservation doit inclure l'évaluation des risques, notamment l'évaluation de la vulnérabilité du site et sa résilience à diverses pressions humaines et changements naturels, ainsi que les risques géologiques posés aux humains comme l'activité volcanique. Les caractéristiques du géopatrimoine varient selon leur degré de sensibilité aux différents types d'activités humaines et de changements



Photo 3.6. Morrich More, dans le Dornoch Firth, Écosse, est un site d'intérêt scientifique spécial, et une zone spéciale de conservation de l'Union européenne. Une grande variété de reliefs côtiers ont développé un environnement très dynamique au cours des 7000 ans passés, et soutiennent une diversité d'habitats côtiers riches en espèces, comme des plaines de sable végétalisées, des zones intertidales, des marais salants, des dunes, des lagunes d'eau saumâtre et des zones de bruyère. © P & A Macdonald/SNH

naturels (Section 6.1). Certaines caractéristiques peuvent être relativement solides (c.-à-d. degré auquel elles peuvent supporter les perturbations) et requièrent donc relativement peu d'interventions de gestion. D'autres, cependant, sont très sensibles (c.-à-d. susceptibles d'être endommagées ou dégradées par les activités humaines ; la reconstitution, si elle existe, ne sera possible qu'après une très longue période) (Sections 5.2 et 6.1). À l'exception des systèmes glaciaires, fluviaux et volcaniques actifs par exemple, les caractéristiques de la plupart des géosites sont des vestiges, ce qui explique pourquoi tout dommage ou destruction est irréversible.

Principe 6 : L'inévitabilité du changement naturel doit être reconnue.

L'inévitabilité du changement naturel doit être reconnue. Aucun élément d'un système naturel n'est statique, et les changements se produisent naturellement. L'approche habituelle pour maintenir ou améliorer l'état actuel afin de préserver les caractéristiques peut être valide, lorsque celles-ci ont peu de chances d'être significativement affectées par les changements naturels (par exemple, dans les montagnes emblématiques et les caractéristiques rocheuses résistantes, ou dans le cas de certains petits sites à forte valeur, où les mesures de protection peuvent être mises en œuvre efficacement). Cependant, dans de nombreux

cas, là où les processus naturels sont un élément essentiel du maintien ou de la protection des éléments d'intérêt, travailler avec les changements naturels pour permettre aux processus géomorphologiques de s'adapter aux conditions changeantes peut s'avérer la seule stratégie efficace. Cela peut signifier la perte de certaines caractéristiques, des changements dans leur localisation (éventuellement hors des frontières de l'aire protégée), ou leur réalignement. Lorsque la protection est présumée nécessaire (par ex. pour protéger une infrastructure précieuse), une certaine forme d'approche artificielle imitant autant que possible la nature pourra être nécessaire, plutôt que de vouloir modifier substantiellement ou de détruire la caractéristique du géopatrimoine.

Principe 7 : Les effets du changement climatique mondial doivent être évalués et contrôlés dans la mesure du possible

Les effets du changement climatique poseront inévitablement un défi aux objectifs de gestion des aires protégées (Groves et al., 2012 ; Gross et al., 2016). Il convient d'être particulièrement attentif lorsque, par exemple, des caractéristiques sont perdues et/ou des processus sont entravés ou intensifiés, modifiant donc la base pour la protection. Le statut de protection de l'aire peut alors ne plus du tout être justifié, ou d'autres caractéristiques ailleurs peuvent désormais mériter une protection. Les



Photo 3.7. Le changement climatique et l'augmentation du niveau de la mer entraîneront probablement des changements dans les processus géomorphologiques et la répartition des reliefs, habitats et espèces, la ligne côtière se déplaçant vers l'intérieur des terres, même si des solutions d'ingénierie « lourde » sont utilisées, comme ici dans la réserve nationale de nature et site du patrimoine mondial de St Kilda, Écosse. © Roger Crofts



Photo 3.8. Un réseau fluvial géré par des structures « lourdes » : le Yangtze au-dessus du barrage des Trois-Gorges, Chine, montre l'effet de la fluctuation de la ligne de rivage sur les sols et la suppression de la végétation, et l'exposition des structures rocheuses. © Roger Crofts



Photo 3.9. Il est important de comprendre l'interaction entre la croissance de la végétation et la visibilité des caractéristiques géologiques, comme ici dans le Parc national du dragon de Jade, province de Yunnan, Chine. © Roger Crofts

frontières du site devront peut-être être modifiées, afin de prendre en compte l'érosion côtière ou les changements dans la localisation des caractéristiques dynamiques d'intérêts. Une approche basée sur les risques devrait aider à prioriser les sites et les caractéristiques pour le suivi (Wignall et al. 2018).

Principe 8 : Les systèmes naturels doivent être gérés dans les limites de leurs capacités à absorber le changement

La sensibilité des systèmes naturels doit être reconnue, et ceux-ci doivent être gérés dans les limites de leurs capacités à absorber le changement (voir Section 6.1 pour plus de détails sur la sensibilité). Il est rare que les systèmes naturels soient assez solides pour pouvoir absorber n'importe quel changement qu'on leur impose. Certains seront plus résistants au changement (par ex. un affleurement rocheux sur une colline), tandis que d'autres seront très fragiles, avec des seuils très bas de réceptivité au changement (par ex. la végétation sur une dune de sable côtière, qui peut être perdue du fait du piétinement, entraînant une érosion). Si les seuils limites sont franchis, l'effort de conservation sera annulé car les caractéristiques et processus originaux auront été changés de manière irréversible. Par exemple, la construction de défenses côtières « lourdes » peut interrompre l'approvisionnement en sédiment des plages, dunes de sables et marais salants en aval, et modifier le processus (l'érosion remplaçant les dépôts), entraînant une perte du relief et des habitats.

Principe 9 : L'interaction et l'interdépendance de la géodiversité, de la biodiversité et du patrimoine culturel doivent être reconnues

L'interaction et l'interdépendance de la géodiversité et de la biodiversité doivent être reconnues dans la gestion de la conservation. De nombreux sites bénéficiant d'une protection pour leur biodiversité auront une dépendance élevée à la géodiversité, tandis que d'autres sites présenteront une interrelation significative entre les éléments biotiques et abiotiques (par ex. dunes de sable) (Section 6.5). Les gestionnaires doivent prendre en compte ces interdépendances dans la gestion des sites, ainsi que les questions de patrimoine culturel.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°3 :

Utiliser les neuf principes pour la géoconservation dans l'inventaire, la planification, la définition d'objectifs, la gestion et le suivi des caractéristiques et processus du géopatrimoine.

Mettre en place une géoconservation dans les aires protégées et conservées

4



On voit l'importance des processus naturels modernes, par ex. les nouveaux reliefs volcaniques issus de l'activité en bordure des plaques tectoniques, à San Bartolomé, Parc national et site du Patrimoine mondial des Galapagos, Équateur. © Roger Crofts

Cette section définit les principales étapes et protocoles pour établir des aires protégées et conservées de géoconservation au niveau national, régional ou local, lorsqu'il n'en existe pas ou qu'elles n'ont pas été créées de façon systématique. Ces conseils peuvent également être utilisés par les gestionnaires d'aires protégées individuelles afin de mettre à jour les intérêts et valeurs en matière de géopatrimoine de leurs aires protégées. Ces orientations abordent les points suivants :

- Définir l'objectif et la taille opérationnelle (4.1)
- Dresser un inventaire (4.2)
- Déterminer les critères d'évaluation des sites (4.3)
- Exemples d'inventaires et d'évaluations du géopatrimoine (4.4)
- Inclure le géopatrimoine dans les plans d'action nationaux, régionaux et locaux (4.5)
- Mécanismes de protection (4.6)
- Types de gouvernance (4.7)
- Exigences en matière d'expertise (4.8)
- Approches internationales (4.9)

Les principales étapes pour l'élaboration d'une stratégie de géoconservation pour une aire protégée comprennent : l'inventaire du site, l'évaluation, la gestion et protection, le suivi, l'interprétation et la promotion. Les présentes Lignes directrices abordent chacune d'entre elles. L'approche suit globalement l'approche de gestion adaptative définie dans les Normes ouvertes pour la pratique de la conservation, utilisées par de nombreuses organisations de la conservation dans le monde pour conserver la biodiversité par le biais des aires protégées et d'autres moyens (Partenariat de mesures de la conservation, 2013). Cette section propose des conseils sur l'inventaire et l'évaluation du site. Elle traite de la création d'un réseau de géosites, et de l'évaluation du géopatrimoine dans les aires protégées existantes. La Section 5 donne des conseils sur la conservation et le suivi. La Section 6 donne des conseils spécifiques sur les menaces qui pèsent sur la géoconservation, et comment y répondre. La Section 7 donne des exemples de géoconservation dans différents milieux. La Section 8 se focalise sur l'interprétation et la promotion.

Dès le départ, mettre en place un cadre systématique s'avère essentiel pour l'identification, la catégorisation, l'évaluation et la sélection des géosites méritant une conservation à tous les niveaux, depuis l'international jusqu'au local. Pour cela, il est recommandé d'adopter une approche en trois étapes : (1) définir l'objectif et la taille opérationnelle ; (2) appliquer de façon rigoureuse la méthode d'inventaire la plus appropriée ; et (3) déterminer le critère d'évaluation du site.

4.1 Définir l'objectif et la taille opérationnelle d'un géosite ou réseau de géosites

Les géosites s'identifient d'abord sur la base de leur valeur scientifique spéciale. Les valeurs éducatives, spirituelles, culturelles, esthétiques peuvent offrir un soutien additionnel, tout comme d'autres valeurs scientifiques non-liées à la géodiversité, comme les valeurs écologiques. Les principes suivants s'appliquent lors de la création d'un réseau de sites du géopatrimoine, et lors de l'évaluation de l'intérêt du géopatrimoine ou des géosites dans des aires protégées existantes. Il est essentiel, dès le début de la planification de la géoconservation dans les aires protégées, de spécifier la taille de l'opération.

Le besoin de créer un réseau d'aires protégées sert-il la géoconservation à une grande échelle (par ex. pour tout le pays, une région, ou une zone petite mais de taille conséquente), ou sert-il à déterminer l'intérêt et la valeur du géopatrimoine au sein d'une aire protégée individuelle ? Ces deux besoins sont essentiels pour une géoconservation efficace. Les conseils ci-dessous s'appliquent aux deux situations.

L'objectif d'un géosite ou d'un réseau de géosites déterminera les valeurs du géopatrimoine à évaluer. Certains géosites auront un objectif relativement étroit - par ex. protéger leurs caractéristiques qui présentent un intérêt scientifique spécial (Tableau 4.1). D'autres pourront avoir plusieurs objectifs, basés sur leur valeur scientifique mais associés à des valeurs éducatives, esthétiques, culturelles, de géotourisme ou écologique en soutien.

Globalement, les intérêts du géopatrimoine présentés dans le Tableau 4.1 sont regroupés en trois grandes catégories : sites types et sites de référence essentiels ; sites abritant des exemples uniques ou exceptionnels de caractéristiques géologiques particulières ; et sites représentatifs de la géologie ou géomorphologie d'une zone, région ou pays.

Sites types et sites de référence essentiels

La stratigraphie est une composante fondamentale de la géoscience. Elle implique la sous-division de l'histoire des roches, la corrélation des unités rocheuses cartographiables, et l'établissement de leur rapport au temps pour interpréter les successions d'événements au fil du temps. Elle demande l'identification de sections types et de points de référence pour définir les limites des étages dans l'échelle des temps géologiques selon les normes internationalement acceptées. La Commission internationale de stratigraphie (ICS), une Commission de l'Union internationale des sciences géologiques (IUGS), cherche actuellement à obtenir un accord international sur la définition d'unités standard mondiales. Le Point stratotypique mondial (PSM, acronyme anglais : GSSP) est une unité standard (Cohen et al., 2013 ; Smith et al., 2015 ; Finney & Hilario, 2018).

Table 4.1. Key geoheritage interests to be considered for geoconservation protected areas.

Intérêts du géopatrimoine	Signification des sites et caractéristiques	Exemple d'aire protégée de géoconservation	Photo
Principales étapes dans l'histoire de la Terre	Inclue les principaux intervalles et limites dans l'histoire de la Terre, comme les localisations du Point stratotypique mondial (PSM), internationalement accepté, qui définit la limite inférieure d'un étage géologique dans l'échelle des temps géologiques. Certains de ces PSM sont marqués d'un « clou d'or ».	Le site PSM pour la base de l'ère du Précambrien Édiacarien est situé à Enorama creek, Parc national de la chaîne des Flinders, Australie-Méridionale. C'est le seul « clou d'or » PSM de l'hémisphère sud.	 © ediacaran.org/flinders-ranges-southaustralia
Principales caractéristiques structurelles et tectoniques	Peut inclure les caractéristiques associées aux collisions des plaques tectoniques, comme les chaînes de montagnes accompagnées de plissements, chevauchements et compressions de strates. Elles peuvent également inclure la formation d'arcs insulaires, de complexes volcaniques centraux et de flux de lave.	Les Parcs nationaux de Banff, Jasper, Kootenay et Yoho, Alberta et Colombie-Britannique, Canada, visent à protéger la partie sud formée par un intense chevauchement des Rocheuses canadiennes, une zone montagneuse surélevée du fait de la collision des plaques tectoniques.	 © Roger Crofts
Types, occurrences et formation des minéraux	Certains sites incluent des dépôts minéraux rares, et des cristaux importants, qui peuvent être reconnus comme la localité type pour ces minéraux.	Les minéraux à base d'uranium trouvés dans les dépôts des nappes aquifères secondaires et enrichies du mont Painter, dans la zone de protection d'Arkaroola, Australie-Méridionale, ont produit des spécimens exceptionnels pour les musées et la recherche.	 © Mindat.org
Types de roches et structures rocheuses rares	Quels que soient leur processus de formation, les types de roches et structures rocheuses rares peuvent être reconnus comme du géopatrimoine pour leur valeur spéciale. Déterminer leur rareté dépendra de l'échelle spatiale de l'inventaire (par ex. « rare » localement peut ne pas être « rare » internationalement).	Le mont Gee, la montagne cristal, située dans la zone de protection d'Arkaroola, Australie-Méridionale, est un produit de l'activité volcanique. Les structures rocheuses riches en silice sont situées là où la roche en fusion circulait dans le réseau, et comprennent des grottes et cavernes renfermant des cristaux internationalement rares.	 © Mindat.org
Évolution de la vie	Certains sites incluent des fossiles et des assemblages de fossiles qui représentent les étages de l'évolution de la vie sur Terre. Ils peuvent inclure des gradations et des interruptions dans les séquences de vie dans l'histoire fossilifère, reflétant les tendances évolutives et les événements catastrophiques, comme les impacts de météorites et les éruptions de super volcans.	La gorge de Bletterbach, Italie du Nord, est une aire protégée qui abrite une séquence rocheuse marquant l'extinction du Permien, la plus grande extinction massive de vie de l'histoire de la Terre.	 © Geopark Bletterbach
Processus terrestres contemporains	Ces sites incluent des processus terrestres modernes, comme le volcanisme, les processus de zone aride, côtiers, fluviaux, et l'activité glaciaire et périglaciaire.	Le Parc national des volcans d'Hawaï, États-Unis, abrite un volcan en perpétuelle activité, avec ses laves basaltiques « pāhoehoe ».	 © José Briha
Caractéristiques de surface et souterraines représentatives	Ces sites sont représentatifs de périodes particulières de l'histoire de la Terre, ou de formations rocheuses ou de processus terrestres particuliers, ou abritent des caractéristiques distinctives ou inhabituelles, comme des grottes.	La grotte du cerf dans le Parc national de Gunung Mulu, Malaisie, est un site du patrimoine mondial qui protège des ressources karstiques exceptionnelles, et offre aux visiteurs un accès à une série de grottes.	 © John Gunn
Histoire des conditions environnementales passées	Ces sites ont gardé la trace des conditions environnementales passées, comme les phases glaciaires de la période quaternaire, et incluent des topographies, sédiments et séquences rocheuses de toutes les périodes de l'histoire de la Terre.	Le parc national de Kosciuszko, Australie, abrite la plus haute montagne d'Australie continentale, et des témoignages rares de la glaciation pléistocène dans l'hémisphère sud, avec cinq lacs glaciaires, un cirque glaciaire et des moraines glaciaires.	 © Roger Crofts

Source : adapté de Crofts et Gordon (2015, Tableau 18.2).



Photo 4.1. Le Point stratotypique mondial à Luoyixi, comté de Guzhang, province de Hunan, Chine : un site type internationalement reconnu et site de référence protégé, qui fait partie du Géoparc mondial de l'UNESCO de Xiangxi. © John Gunn

La géoconservation est fondamentale pour garantir que ces sites restent accessibles à l'avenir comme sites de référence. Bien que le critère du Point stratotypique mondial stipule la conservation et la protection (Gradstein & Ogg, 2012), il n'existe pas de législation internationale ou de mesures de conservation pour garantir la protection de ces sites. Il y a donc là un argument solide pour que le Point stratotypique mondial soit considéré comme un troisième réseau de sites de géoconservation internationalement reconnus, à côté des sites du patrimoine mondial et des Géoparcs mondiaux (Gray, 2011). Une telle reconnaissance permettrait de susciter une prise de conscience au sein des gouvernements nationaux du besoin de protéger les Points stratotypiques mondiaux (PSM). Indépendamment de cet objectif à long terme, la protection de tels sites doit être une priorité élevée pour les gestionnaires d'aires protégées.

Des réseaux nationaux de sites de référence pour la géoscience ont également été créés dans la plupart des pays. Ces sites types pour des périodes ou événements particuliers dans l'histoire de la Terre sont également une priorité élevée pour la géoconservation. Pour plus d'informations, les gestionnaires d'aires protégées doivent consulter les experts appropriés dans leurs études géologiques nationales, sociétés géologiques ou instituts de recherche.

Sites avec des exemples uniques ou exceptionnels de caractéristiques géologiques particulières

Certains sites incluent des exemples uniques, rares ou exceptionnels de strates rocheuses particulières, ou de dépôts,

topographies ou processus géomorphologiques. Parmi les exemples internationalement connus, citons le Grand Canyon (Parc national du Grand Canyon, États-Unis), Uluru (Parc national de Uluru-Kata Tjuta, Australie) et la discordance stratigraphique de Hutton à Siccar Point, et les rivages du lac glaciaire de Glen Roy (tous deux en Écosse).

Sites représentatifs de la géologie ou géomorphologie d'une zone, région ou pays.

La majorité des sites considérés comme ayant une valeur en termes de géopatrimoine seront représentatifs de l'histoire géologiques d'une région ou pays.

Ils comprennent les principales localités et meilleurs exemples qui sont fondamentaux pour comprendre les processus et événements passés et présents préservés dans l'histoire des roches, et qui ont façonné le paysage. En général, de tels sites formeront partie d'un réseau cohérent de sites en rapport qui représentent collectivement une période de temps ou un événement particulier, ou un ensemble de processus géomorphologiques et reliefs (par ex. des sites représentant les principales facettes de la période géologique du Dévonien, ou la géomorphologie côtière d'une nation).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°4 : Utiliser les huit types d'intérêts du géopatrimoine (Tableau 4.1) pour définir les objectifs d'une aire protégée de géoconservation ou réseau de géosites.

4.2 Dresser un inventaire

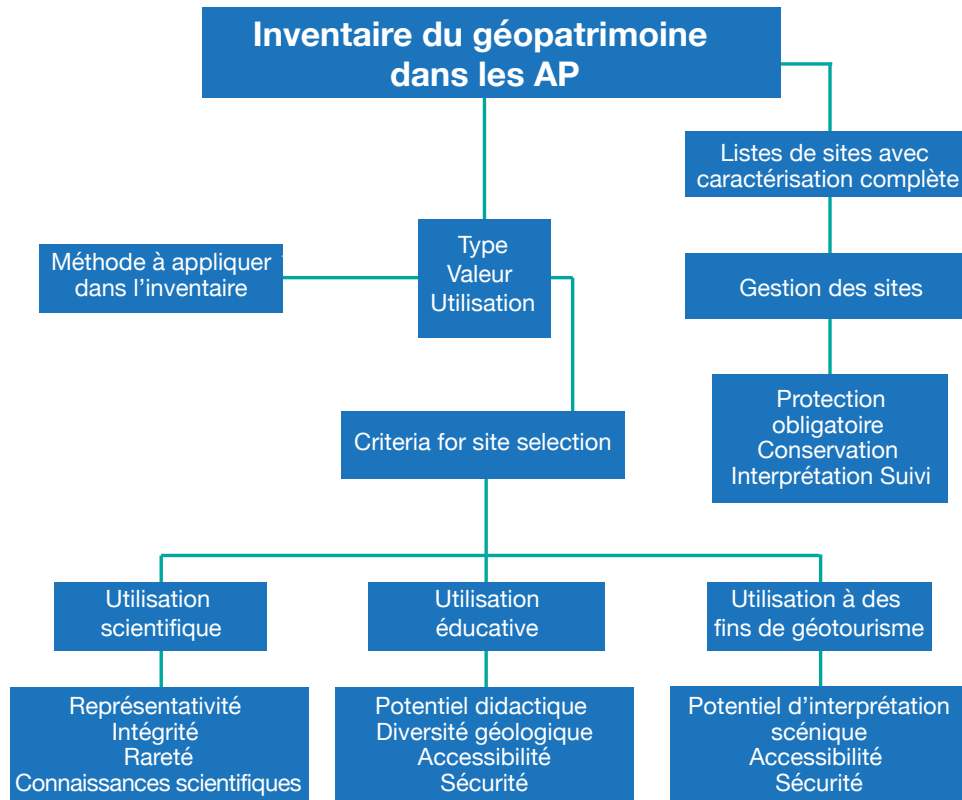
La grande majorité des aires protégées dans le monde ont été établies pour conserver la biodiversité et/ou des paysages terrestres et marins symboliques. Du fait de l'absence d'informations sur la présence de géopatrimoine au sein des aires protégées, des caractéristiques naturelles importantes ne sont pas toujours incluses dans les stratégies de gestion. En conséquence, il est donc vital de comprendre les inventaires du géopatrimoine dans les aires protégées. Ils sont d'égale importance comme prochaine étape pour développer un réseau national ou régional d'aires protégées de géoconservation.

Lorsque possible, un inventaire exhaustif de tous les éléments de géopatrimoine - géologie, géomorphologie et sols - doit être dressé pour l'aire protégée, la région ou le pays, selon l'échelle de l'opération étudiée. Des questions pratiques, comme la sensibilité aux dommages et les liens avec les principales zones d'habitat, doivent être évaluées si les ressources le permettent. Un inventaire des sites peut évaluer leur valeur potentielle pour la science, l'éducation, les activités récréatives et/ou le géotourisme, ainsi que leur risque de dégradation (Brilha, 2016). Cette information aide à l'élaboration de priorités et d'opportunités de gestion.

Les inventaires du géopatrimoine doivent fournir aux gestionnaires d'aires protégées des informations cruciales et des données à inclure dans les plans de gestion ; et doivent répondre à des questions simples comme :

- Combien de géosites existe-t-il dans l'aire protégée et où sont-ils situés ?

Schéma 4.1 Inventaire du géopatrimoine et processus de gestion dans les aires protégées



Source : © José Brilha

- Quelle est leur valeur principale (scientifique, esthétique, culturelle, éducative) et leur pertinence (internationale, nationale, locale) ?
- Sont-ils menacés de dommages ou de disparition par des facteurs humains et/ou naturels, aujourd'hui ou à l'avenir ?

Une décision importante doit être prise : quels sites et caractéristiques sélectionner, et pourquoi. Il vaut mieux utiliser les méthodes déjà utilisées et testées, comme établi dans le Tableau 4.1. L'aide d'un expert est nécessaire. La solution la plus fréquente pour les gestionnaires d'aires protégées est de faire appel à un soutien externe pour dresser l'inventaire du géopatrimoine, ce qui peut être fait par des enquêtes géologiques, des universités, des entreprises privées ou des experts individuels.

Il y a plusieurs étapes à respecter dans un inventaire du géopatrimoine (Schéma 4.1 ; Encadré 4.1). La première est de définir l'objectif de l'inventaire, selon le type, la valeur et l'utilisation du géopatrimoine. Parfois, des inventaires partiels peuvent être réalisés : sur la paléontologie (fossiles), la géomorphologie (reliefs et leurs paysages), la minéralogie (minéraux) ou la pétrologie (roches). Normalement, cependant, un inventaire complet sera demandé pour garantir que tous les éléments principaux du géopatrimoine sont identifiés et protégés. Les valeurs d'un géosite détermineront le type d'utilisation autorisée.

Chaque site choisi pendant l'inventaire doit être entièrement caractérisé avec les détails suivants (Brilha, 2016) :

1. Nom
2. Localisation géographique, y compris coordonnées GPS
3. Propriété, y compris celle des matériaux souterrains
4. Protection statutaire actuelle
5. Accessibilité
6. Fragilité et vulnérabilité
7. Condition observée des principales caractéristiques et processus de géodiversité
8. Description géologique
9. Caractéristiques les plus remarquables justifiant la présence d'un géosite
10. Caractéristiques avec des utilisations éducatives et/ou de géotourisme potentielles
11. Liens avec les biens écologiques et culturels
12. Limites et restrictions sur l'accès et l'utilisation scientifique
13. Limites au nombre de visiteurs, le cas échéant ; et
14. Conditions de sécurité pour tous les types d'utilisateurs.

Cette information est cruciale pour la mise en place d'un plan d'action approprié de géopatrimoine, et pour inclure les résultats de l'inventaire dans les plans de gestion de l'aire protégée. L'inventaire peut inclure les géosites de pertinence internationale, nationale, régionale ou même locale. Cela a des conséquences dans l'établissement des priorités du plan de gestion, et doit donc être déterminé par l'équipe technique en charge de l'inventaire.

Un bon exemple de l'implication des étudiants et professionnels des géosciences dans les aires protégées est le programme



Photo 4.2. Exemple de représentativité - roches sédimentaires plissées formant des chaînes montagneuses où les plaques tectoniques sont entrées en collision, comme dans les Andes, l'Himalaya, les Rocheuses et les Alpes européennes – ici dans le Parc national des Écrins, France. © Roger Crofts



Photo 4.3. Exemple de rareté – le spriggite, un minéral jaune rare, nommé d'après le géologue Reg Sprigg. Sa localité type est le mont Painter, dans l'aire de protection d'Arkaroola, chaîne de montagnes des Flinders, Australie-Méridionale. © Joel Brugger



Photo 4.4. Exemple de développement de connaissances scientifiques à partir de l'étude des formations rocheuses et leur origine : un ancien dépôt glaciaire issu de la glaciation mondiale il y a quelques 700 millions d'années, souvent appelée la « Terre boule de neige ». Gorge de Tillite, aire de protection d'Arkaroola, Australie-Méridionale © Graeme L. Worboys



Photo 4.5. Exemple de potentiel éducatif : Geyser de Old Faithful et zone géothermique, Parc national et site du patrimoine mondial de Yellowstone, États-Unis. © Graeme L. Worboys.

de la Société géologique d'Amérique « Géoscientifiques dans les Parcs ». Ce programme offre aux participants une occasion unique de contribuer à la conservation des parcs nationaux américains, et permet au Service des Parcs nationaux américains de mieux comprendre et gérer ses ressources naturelles (Société géologique d'Amérique (GSA), 2019).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°5 : Réaliser un inventaire des géosites à l'aide de l'approche du diagramme, Schéma 4.1.

4.3 Déterminer les critères d'évaluation des sites

Évaluer un géosite selon les trois principaux types d'utilisation (scientifique, éducatif et géotourisme/récréatif) est considéré comme une bonne pratique.

Quatre critères sont recommandés pour la sélection des géosites importants pour **l'étude scientifique** :

1. **Représentativité** : dans quelle mesure le géosite illustre bien le processus ou la caractéristique terrestre, et contribue efficacement à la compréhension du sujet, du processus, de la caractéristique ou du cadre (Photos 4.2) ;
2. **Intégrité** : le statut actuel de conservation du géosite, en prenant en compte les processus naturels et les facteurs humains (Photo 4.6) ;
3. **Rareté** : le nombre de géosites représentant les caractéristiques géologiques (Photo 4.3) ; et
4. **Connaissances scientifiques** : l'étendue des informations scientifiques déjà publiées sur le géosite (Photo 4.4).



Photo 4.6. Exemple d'un site de géodiversité : représenté par des fissures en bordure des plaques tectoniques Eurasie/Amérique du Nord, un petit fossé d'effondrement, et un lac profond avec des cheminées volcaniques au fond du lac dans le Parc national de Thingvellir, Islande. Cette aire possède également un intérêt significatif en matière de patrimoine culturel, en tant que localisation du premier parlement islandais, et est classé site du patrimoine mondial. © Roger Crofts



Photo 4.7. Exemple d'accessibilité : accès par la route pour voir les stacks dans la mer, au Parc national marin des Douze apôtres, Victoria, Australie. © Roger Crofts



Photo 4.8. Exemple de sécurité : vue de la cascade depuis la promenade et la plateforme d'observation. Parc national de Fulfjällets, Suède. © Roger Crofts



Photo 4.9. Exemple de liens entre des valeurs de géodiversité et panoramique : la juxtaposition de roches sédimentaires plissées, de la neige et de la glace, et la flore alpine offrent une justification visuelle pour leur protection. Parc national de la Vanoise, France. © Roger Crofts



Photo 4.10. Exemple de potentiel d'interprétation : une formation rocheuse inhabituelle à Elephant Rock, Parc naturel de Topes de Collantes, Cuba. © Roger Crofts

Cinq critères sont recommandés pour la sélection des sites à des fins éducatives :

1. **Potentiel éducatif** : capacité d'une caractéristique à être facilement comprise par des étudiants de différents niveaux (écoles primaires et secondaires, universités) (Photo 4.5) ;
2. **Géodiversité** : nombre de types différents de caractéristiques et processus de géodiversité présents sur le site (Photo 4.6) ;
3. **Accessibilité** : conditions d'accès au site, en termes de difficulté et de sécurité ; et temps que les étudiants et les visiteurs doivent passer sur place afin de découvrir le site (Photo 4.7) ;
4. **Sécurité** : liée aux conditions de visite, en prenant en compte un risque minimum pour les étudiants et visiteurs (Photo 4.8) ; et
5. **Connexion culturelle et spirituelle** : lien vers des valeurs culturelles et spirituelles présentes chez des communautés autochtones (voir Photos 5.12 à 5.16).

Trois critères sont recommandés pour la sélection des sites à des fins de géotourisme/récréatives :

1. **Caractère pittoresque** : la beauté visuelle du paysage ou de la caractéristique (Photo 4.9)
2. **Potentiel d'interprétation** : capacité de la caractéristique à être facilement comprise par des non-experts (Photo 4.10) ; et
3. **Accessibilité** : Conditions d'accès au site en termes de difficulté et de sécurité, et temps de marche nécessaire pour que le public accède au site (Photo 4.7).

Une fois que ces critères ont été établis, le niveau géographique d'importance peut être établi (Brocx & Semeniuk, 2007 ; Crofts & Gordon, 2015). Brocx & Semeniuk (2007, 2015) offrent une méthode globalement comparative pour permettre l'identification et la catégorisation systématiques des régions, zones, géosites ou caractéristiques d'importance pour le géopatrimoine, à toutes les échelles ; les affectent à une catégorie conceptuelle de géopatrimoine et d'échelle de référence ; et évaluent leur importance (Schéma 4.2).

Les gestionnaires d'aires protégées doivent utiliser les résultats de l'évaluation du site pour renseigner la gestion de la conservation des géosites particuliers et leurs utilisations potentielles. Par exemple des sites internationalement importants exigeront probablement un niveau plus élevé de gestion et de protection que les autres.

4.4 Exemples d'inventaires du géopatrimoine et d'évaluations de site

Pour aider les gestionnaires d'aires protégées, on trouve un très grand nombre d'exemples dans la littérature publiée d'inventaires du géopatrimoine et d'évaluations de sites à l'échelle nationale, régionale et locale, et d'aires protégées individuelles. Au niveau national, on trouve des exemples des États-Unis (Santucci & Koch, 2003), d'Espagne (Carcavilla Urquí et al., 2007), du Portugal (Pereira et al., 2009) et de Grande-Bretagne (Ellis, 2008 and 2011). Pour les aires protégées individuelles, on a par exemple le Parc national de Cilento Vallo di Diano, Italie (Santangelo et al., 2005), le Parc national de Montesinho, Portugal (Pereira et al., 2007), le Parc régional des pics d'Europe, Espagne (Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez, 2012), le Parc national des Pyrénées, France (Feuillet & Sourp, 2011) et le Parc naturel des colonnes de la Lena, Russie (Gogin & Vdovets, 2014). Plusieurs exemples sont présentés dans les Encadrés 4.1, 4.2 et 4.3. De tels inventaires aident également à identifier les principaux sites pour la géoconservation au sein des aires marines protégées.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°6 : Utiliser des critères d'évaluation des géosites clairs, incluant des études scientifiques, l'usage éducatif, le géotourisme et l'utilisation à usage récréatif.

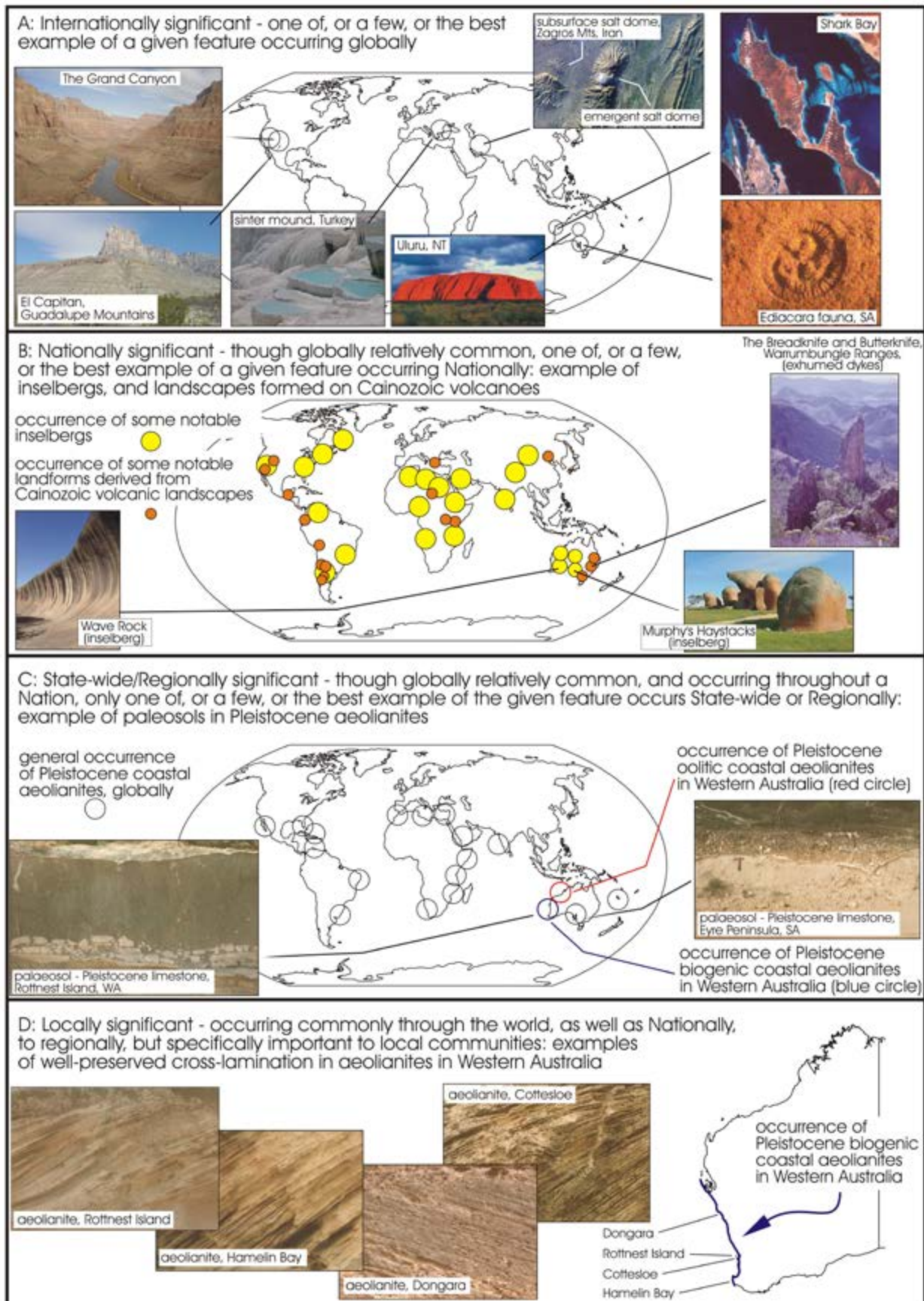
4.5 Inclure le géopatrimoine dans les plans d'action nationaux, régionaux et locaux

La géoconservation dans les aires protégées sera considérablement améliorée si les plans au niveau national, régional et local incluent la géoconservation (voir Crofts, 2018). Par exemple, un cadre national ou un plan d'action peut aider à mettre en place une approche vaste et stratégique de la géoconservation, en établissant des objectifs et des actions de haut niveau (Gordon & Barron, 2011). Martin-Duque et al. (2012) démontrent de quelle manière de tels inventaires et une telle cartographie du géopatrimoine peuvent renseigner la planification locale d'aménagement du territoire. En effet, ils peuvent être utilisés pour mesurer et rapporter les avancées, aider à engager les partenaires et coordonner leurs activités, et enfin promouvoir la géoconservation au niveau national et

4. Mettre en place une géoconservation dans les aires protégées et conservées

Schéma 4.2. Représentation des niveaux d'importance applicables aux caractéristiques du géopatrimoine

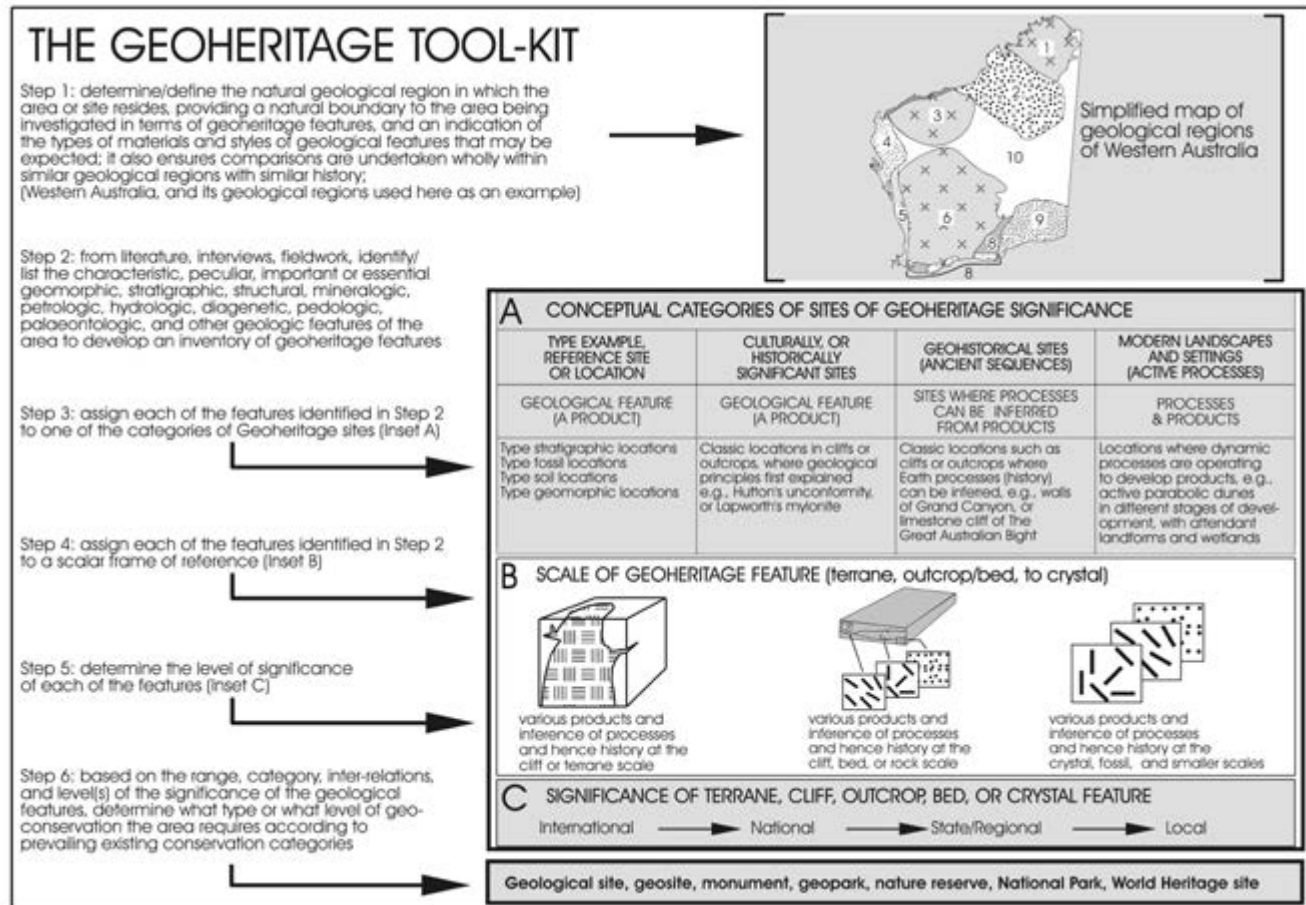
A : international ; B : national ; C : de l'échelle de l'État au régional ; et D : local. Cette approche peut servir pour créer de nouvelles aires protégées et ajouter des intérêts de géopatrimoine à des aires protégées existantes.



Source : Brocx & Semeniuk, 2007.

Encadré 4.1 Geoheritage Tool-kit

Le diagramme conceptuel suivant résume les étapes utilisées pour identifier et évaluer les sites importants pour le géopatrimoine, pour leur gestion et/ou statut de conservation. Les caractéristiques du géopatrimoine au sein du site sont évaluées par catégorie (A), portée et échelle (B), et niveau d'importance (C). Cette approche peut servir pour créer de nouvelles aires protégées et ajouter des intérêts de géopatrimoine à des aires protégées existantes. La Boîte à outils sur le géopatrimoine (Encadré 4.1), conçue en Australie-Occidentale, a été appliquée avec succès (Brocx & Semeniuk, 2011 ; Brocx et al., 2019) ainsi qu'au Maroc (Errami et al., 2015).



Étapes dans l'utilisation de la Boîte à outils sur le géopatrimoine utilisée pour identifier et évaluer les sites d'importance pour le géopatrimoine, issues de Brocx & Semeniuk (2011).

Contributeur : Margaret Brocx

dans les politiques et stratégies infranationales. Citons comme exemple de cadre national le Plan d'action pour la géodiversité du Royaume-Uni ; comme exemples infranationaux la Stratégie pour la géodiversité du Pays Basque et la Stratégie d'Andalousie pour la gestion de la géodiversité. La note d'information de la CDB sur les Stratégies et Plans d'action nationaux pour la biodiversité peut fournir un cadre utile.

Un plan d'action pour la géodiversité s'appuie sur un inventaire afin de déterminer les exigences de gestion pour les différents éléments. Le plan d'action définit des objectifs clairs à long terme, définit des cibles et actions mesurables à court terme pour conserver et mettre en valeur la géodiversité et le géopatrimoine d'une zone particulière, et identifie les ressources humaines et financières nécessaires pour le réaliser. De tels plans peuvent également aider à l'intégration de la géodiversité et du géopatrimoine dans la gestion de la conservation des différentes catégories d'aires protégées.

En Italie, le programme PROGEO-Piemonte (gestion PROactive du patrimoine GEOlogique dans le Piémont) met en place une planification de l'action pour la géoconservation dans la région du Piémont, afin de répondre aux besoins des communautés locales dans le domaine du tourisme, du développement durable, de l'éducation et la sensibilisation aux géorisques (Ferrero et al., 2012). Le programme se base sur un audit systématique des géosites, et sur une évaluation de leur valeur de géopatrimoine à partir de perspectives scientifiques, éducatives, culturelles et esthétiques. Il implique la participation des partenaires locaux, et prend en compte les caractéristiques géologiques de la région, ainsi que ses composantes physiques, géographiques, politiques, économiques, historiques et culturelles. D'autres exemples de réseaux régionaux de géosites incluent ceux situés en Espagne (Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez, 2010), en Suisse et au Portugal.

En Grande-Bretagne, les Plans d'action locaux pour la géodiversité définissent un cadre, des principes directeurs et des priorités pour garantir la conservation du géopatrimoine et les réseaux de géosites à l'échelle régionale (English Nature, 2004 ; Dunlop et al., 2018). Ils définissent des objectifs clairs, avec des cibles mesurables pour la géoconservation locale. Ils incluent typiquement les éléments suivants :

- Un inventaire des ressources de géodiversité dans la zone ;
- Une communication publique et une éducation ;
- Un encouragement à la protection de la géodiversité par le biais de plans et d'orientations de collectivités territoriales ;
- Des objectifs de conservation et de gestion pour les géosites, les processus naturels et la géodiversité du paysage ; et
- Des objectifs clairs pour mobiliser les ressources du processus de planification de l'action, afin de soutenir la dynamique à l'avenir.

Une fois complétés, les Plans d'action pour la géodiversité doivent être inclus dans les plans de gestion des aires protégées à l'échelle appropriée, c.-à-d. nationale, régionale, ou pour une aire protégée individuelle. Ces plans doivent ensuite être intégrés dans le système national de prise de décision sur le développement et l'aménagement du territoire. Cela peut se faire de façon indépendante ou par l'intégration à des plans locaux pour la biodiversité. Ces plans permettent aux politiques de planification du développement, et aux décisions de planification du contrôle du développement, d'être basées sur des informations à jour sur la géodiversité d'une zone. Les audits et les plans d'action doivent aider à soutenir le travail sur la planification du développement, l'évaluation environnementale stratégique, l'évaluation d'impact environnemental, les plans locaux pour la biodiversité, et les activités basées sur le tourisme. Les Plans d'action locaux pour la géodiversité conservent d'importants exemples de géopatrimoine local, et peuvent également contribuer à la qualité des milieux locaux, offrir des occasions d'activités récréatives informelles, et contribuer au programme de santé publique. L'implication de la communauté dans le soin et la jouissance des géosites locaux favorisera également un sentiment de fierté vis-à-vis du géopatrimoine local, et encouragera donc sa conservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°7 : Encourager le développement de plans d'action à l'échelle nationale, régionale et locale, afin de s'assurer que la géoconservation est bien incluse dans les principaux documents décisionnaires.

4.6 Mécanismes de protection : Moyens statutaires ou autres moyens efficaces

Toutes les aires protégées, y compris les géosites, doivent être publiées au Journal officiel (reconnues sous la loi statutaire), reconnues par une convention ou un accord international, ou gérées par d'autres moyens efficaces. Dans la pratique, les aires protégées peuvent être régies et gérées par des gouvernements, des organisations privées, des peuples autochtones et des communautés locales, ou une combinaison des trois (on parle alors de « gouvernance partagée »). Mais il existe également des « aires conservées » qui ne sont pas des

aires protégées où la conservation est l'objectif principal, et qui peuvent être gérées d'autres façons, avec quand même pour résultat une conservation de la nature sur le long terme. Citons par exemple les autres mesures de conservation efficaces par zone (AMCE) définies par la Convention sur la diversité biologique (Décision 14/8 CDB). La CMAP de l'UICN a publié des Lignes directrices pour identifier et signaler les autres mesures de conservation efficaces. Ces aires conservées et autres mesures de conservation efficaces par zone peuvent également être efficaces pour assurer la géoconservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°8 : Utiliser les orientations de la CMAP sur les aires protégées et autres mesures de conservation locales et efficaces afin de garantir le mécanisme de protection le plus efficace pour le géosite.

4.7 Types de gouvernance

Les Encadrés 4.2 et 4.3 montrent deux exemples de situations de gouvernance différentes liées à la géoconservation dans des aires protégées. Des orientations plus générales sur la gouvernance des aires protégées sont disponibles dans Borrini-Feyerabend et al., (2014).

4.8 Expertise requirements

Les besoins concernant la gestion de la géoconservation doivent déterminer le type et le niveau d'expertise requis, soit dans l'aire protégée en elle-même ou dans son organisme de gestion, soit par des accords spéciaux avec les organes externes d'expertise comme les instituts de recherche. Idéalement, dans un ensemble de sites où il y a une composante forte de sciences de la Terre, ou bien un site où la géoconservation est un objectif principal, il est préférable d'employer des experts compétents au sein de l'organisme de gestion pour les aires protégées. Cependant, les ressources ne permettent pas toujours d'adopter cette approche, et des accords informels doivent alors être trouvés avec des experts d'institutions universitaires ou des individus qui peuvent travailler comme bénévoles. Leur rôle sera alors d'être des conseillers spéciaux auprès des gestionnaires d'aires protégées afin de définir les objectifs et d'élaborer les régimes de gestion et les programmes éducatifs. En outre, ils devront communiquer les meilleures pratiques appliquées dans des situations similaires dans d'autres régions du monde.

Le choix d'expertise dépendra de l'intérêt du site (par ex. paléontologie, minéralogie, stratigraphie, géomorphologie).

En général, il est préférable d'impliquer des personnes qui ont les connaissances spécifiques nécessaires, des connaissances plus générales sur la géodiversité, et une formation spécifique sur le géopatrimoine et la géoconservation. Une capacité à savoir communiquer avec les collègues, des non-spécialistes et le grand public, est essentielle si l'éducation du public sur le géopatrimoine et la géoconservation est un axe fort du site.

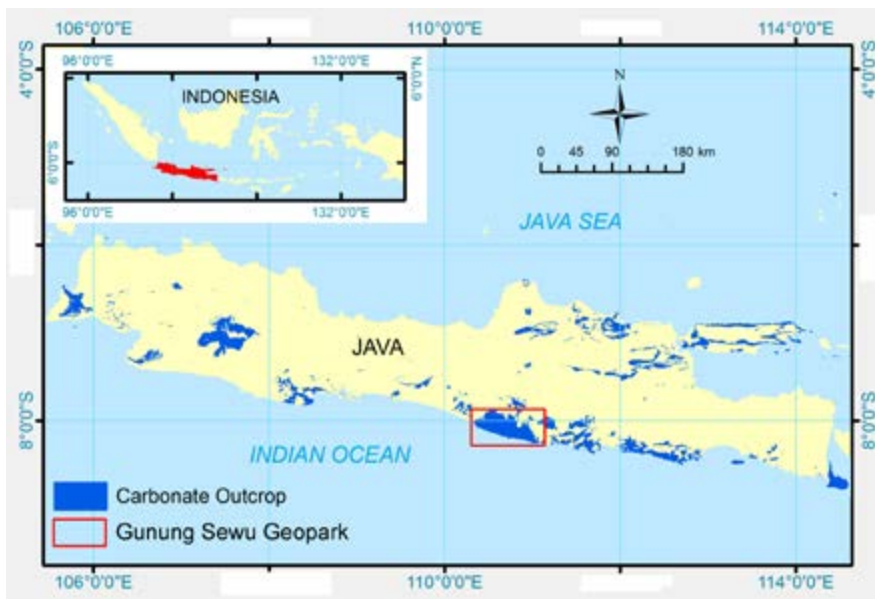
À l'opposé, certaines aires protégées auront plutôt comme axe fort la recherche et la science. Dans ces cas-là, un programme coordonné d'activité scientifique doit être défini entre les gestionnaires de l'aire protégée et la communauté scientifique, avec un programme de travail convenu. Un organisme de gestion de l'aire protégée pourra trouver plus efficace de

Encadré 4.2

Gestion de la géoconservation basée sur la communauté dans le Géoparc mondial de l'UNESCO de Gunung Sewu, Indonésie

Le Géoparc de Gunung Sewu a été désigné Géoparc mondial de l'UNESCO en octobre 2015. Le Géoparc s'étend sur 1802 km² et inclut 33 géosites au sein d'un paysage karstique tropical classique (Schéma 4.5), dont huit ont été créés au départ par les communautés locales. La gestion tournante du Géoparc se fait conjointement entre trois administrations provinciales. La gestion de la plupart des géosites est réalisée par les communautés locales ; les populations locales les ont créés et organisés sous la coupole d'un groupe de gestion du tourisme basé sur la communauté.

La gestion de la géoconservation basée sur la communauté protège les géosites du Géoparc, et génère des revenus pour les populations locales et le développement régional, grâce à l'écotourisme. Par exemple, la gestion de la géoconservation du village de Nglanggeran montre des destinations, des produits et des comportements de tourisme durable, responsable et inclusif. Les meilleures pratiques de géoconservation basée sur la communauté de Nglanggeran ont été reconnues et distinguées par des récompenses nationales et régionales.



Contributeur : Eko Haryono

Tableau 4.2 Éléments d'informations pour l'initiation du personnel de l'aire protégée

Cartographie géologique	Informations sur la géologie de l'aire protégée et l'étendue et la qualité de la cartographie géologique disponible.
Patrimoine géologique spécial	Identification de la localisation et de la nature des géosites, et de toute opération de gestion spéciale en place pour protéger ce patrimoine. Documents de recherche écrits sur les caractéristiques.
Sécurité des visiteurs	Informations sur tout risque ou phénomène géologique pouvant constituer un risque pour les visiteurs. Historique des incidents en matière de sécurité dans l'aire protégée, et actions prises pour renforcer la sécurité.
Matériel	Description du matériel géologique utilisé pour aider aux opérations (comme le matériel pour les routes), leur origine et le caractère approprié de leur utilisation.
Suivi	Aperçu du phénomène géologique suivi, base pour le suivi, et logistique associée. Coûts du suivi, et comment l'information est utilisée et doit être incluse.
Planification des incidents géologiques	Aperçu de toute planification en place pour faire face à des incidents géologiques potentiels. Cela doit inclure le statut des documents de réponse de la planification, leur monnaie et planning de révision.

Encadré 4.3

Site forestier fossilifère d'intérêt scientifique spécial de Brymbo, Wrexham, Royaume-Uni

La forêt fossile de Brymbo est un site paléobotanique important situé près de Wrexham, au nord-est du Pays de Galles, Royaume-Uni. L'élément fossile présentant un intérêt a été découvert en 2005 lors de réclamations sur une ancienne aciérie à l'abandon, et comprend une séquence de 14 mètres d'épaisseur de sédiments carbonifères. Le riche assemblage de plantes fossilisées, dont un grand nombre en position vivante, donne au site sa valeur élevée pour la science et le géopatrimoine.

Le site est actuellement la propriété de Brymbo Development Ltd, mais devrait être transféré à un Fonds, le Brymbo Heritage Trust. Le Fonds ainsi que ses principaux partenaires ont préparé un plan général pour transformer le site en une attraction touristique de niveau mondial. Les fonds sécurisés permettront un travail de stabilisation sur le patrimoine industriel et la conservation de la forêt fossile.

Les défis de la conservation

Même si la nomination en tant que Site d'intérêt scientifique spécial fournit une protection juridique, la conservation et la gestion des caractéristiques fragiles restent un défi. L'objectif est de développer des installations sur le site afin de conserver et de présenter la plupart des fossiles in situ, en construisant un bâtiment qui couvrirait une partie de la forêt fossile. Un coordinateur à temps plein dirigera l'excavation, et formera des bénévoles pour reconstituer, préparer et cataloguer les nombreux spécimens stockés pendant la phase initiale de « sauvetage des fossiles ».

La forêt fossile de Brymbo est un exemple de partenariat œuvrant à protéger et gérer une ressource géologique fragile et finie, et promouvant les liens entre géopatrimoine et patrimoine industriel. Le bâtiment inclura des installations pour la recherche scientifique, sera ouvert au public, et sera au cœur d'une attraction touristique plus large axé sur les siècles de patrimoine industriel.

Pour plus d'informations, voir Appleton et al. (2015) et Roberts et al. (2016).



a. Vue aérienne oblique du Site d'intérêt scientifique spécial de la forêt fossile de Brymbo (tracé). Juste à côté se trouve l'ensemble de bâtiments industriels qui retracent plus de 200 ans de fabrication de l'acier et du fer à Brymbo © Brymbo Heritage Trust

b. Lycophyte géant in situ © Peter Appleton

c. Le lycophyte en (b) sauvé du site, nettoyé et reconstruit en position vivante pour présentation au musée de Wrexham © Nigel Larkin

d. Spécimen de nevroptère semireticulata © Peter Appleton

Contributeur : Raymond Roberts



Photo 4.11. Certains géosites internationalement importants appartiennent à des propriétaires privés, comme c'était le cas jusqu'à récemment pour le site géothermique mondialement connu de Geysir, en Islande. Des tensions apparaissent en matière de gestion, mais globalement la résistance relative du site par rapport à d'éventuels dommages sur son intérêt pour le géopatrimoine permet de maintenir son intégrité intacte, et l'accès des visiteurs est bien géré. © Ragnar Th. Sigurdsson

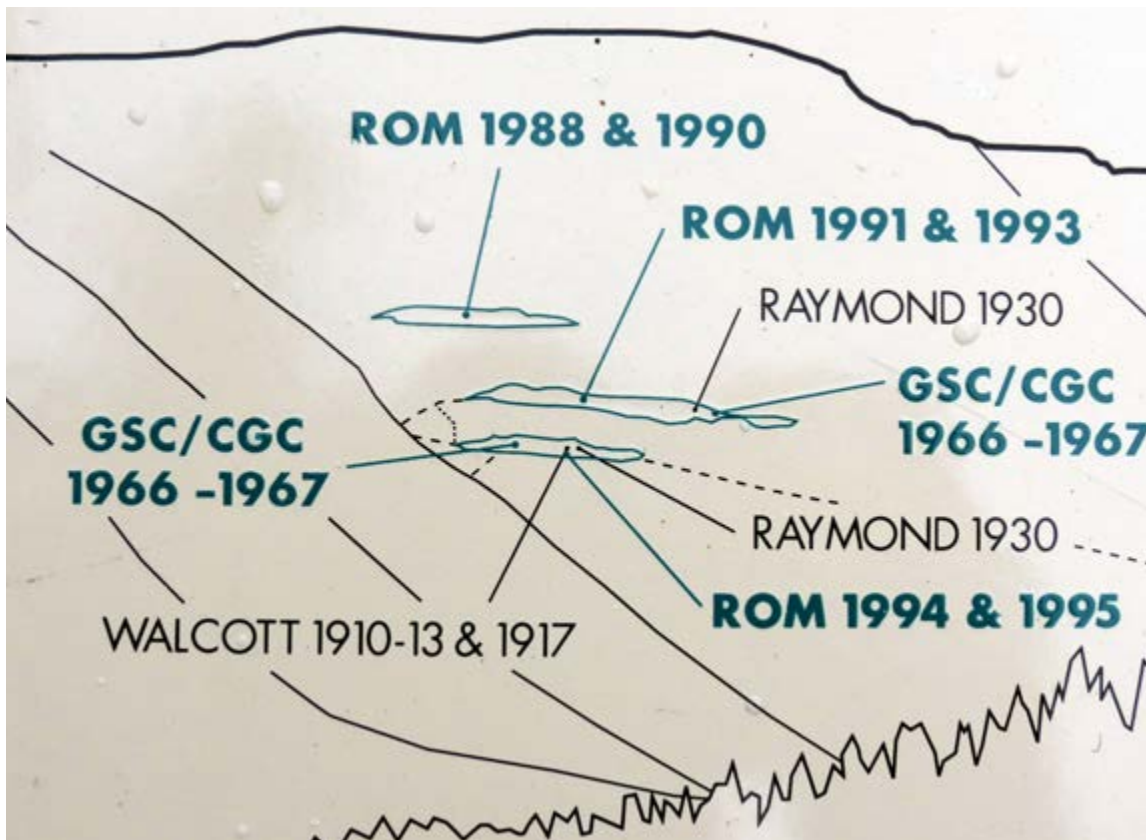


Photo 4.12. De nouveaux esprits avec de nouvelles idées font naître de nouvelles connaissances qui peuvent être appliquées à l'évaluation et à la gestion de l'aire protégée. La photo montre les localisations de projets de recherche successifs sur les schistes de Burgess, Parc national de Yoho, Canada. © Roger Crofts



Photo 4.13. Le glacier d'Aletsch est l'un des premiers sites désigné sous le critère du patrimoine mondial (viii) dans le site du patrimoine mondial de Jungfrau-Aletsch, Suisse. © Roger Crofts



Photo 4.14. Le lac miroir, Parc national de Jiuzhaigou, Chine, qui porte si bien son nom. Kishore Rao, du Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO, a dit lors de l'évaluation de ce site : « Il s'agit réellement d'un parc national exceptionnel, qui mérite entièrement son statut de patrimoine mondial. Je suis impressionné par sa beauté naturelle et ses paysages, par le degré élevé d'attention portée à sa gestion, ainsi que par l'engagement du personnel. » © Roger Crofts



Photo: 4.15. Garantir que toutes les désignations internationales pertinentes sont appliquées à une aire de géopatrimoine. Parc national de Huanlong, Chine. © Roger Crofts

s'impliquer avec des scientifiques d'universités et d'instituts de recherche, plutôt que d'employer ses propres experts scientifiques. Cependant, il est essentiel d'avoir un accord clair stipulant que les résultats de la recherche seront rendus disponibles aux gestionnaires de l'aire protégée et au grand public, d'une façon qui soit compréhensible et utilisable.

La science grand public (participation publique dans la recherche scientifique) est aujourd'hui souvent utilisée pour accroître la capacité de rassemblement des connaissances et de l'information. Il s'agit d'une approche intéressante, à condition que des protocoles soient mis en place notamment pour le recrutement et la formation des bénévoles (Irwin, 2018, énonce les arguments pour et contre).

Au vu de la probabilité que de nouvelles personnes soient employées dans l'aire protégée, ou que les employés travaillent dans d'autres aires protégées pendant leur carrière, il est essentiel de procéder à une initiation sur le géopatrimoine et la géoconservation (Tableau 4.2).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°9 : Utiliser des experts pour garantir un apport technique à la planification, la gestion et la communication relative à la géoconservation.

4.9 Approches internationales en matière de géoconservation

Il est important de reconnaître les instruments internationaux spécifiques existants pour la géoconservation.

La Convention pour la protection du patrimoine mondial naturel et culturel de l'UNESCO se focalise sur le concept de « valeur universelle exceptionnelle » pour reconnaître les sites du patrimoine mondial. La Convention reconnaît la géodiversité comme faisant partie de la nature dans son critère (viii), qui affirme que les sites constituant « des exemples éminemment représentatifs des grands stades de l'histoire de la Terre, y compris le témoignage de la vie, de processus géologiques en cours dans le développement des formes terrestres ou d'éléments géomorphiques ou physiographiques ayant une grande signification » peuvent se qualifier pour devenir sites du patrimoine mondial (UNESCO, 1972).

Le cadre thématique de l'UICN (Dingwall et al., 2015) donne plus de détails sur l'application du critère (viii), analyse les différents aspects de la géodiversité couverts par le critère, et établit 13 thèmes qui caractérisent comment les principales idées géologiques et géomorphologiques se traduisent dans l'identification des sites. Le lecteur trouvera plus de détails

sur les déserts dans Goudie et Seely (2011), sur les grottes et les karsts dans Williams (2008), et sur les volcans dans Wood (2009), mis à jour par Casadevall et al. (2019). Enfin, Migoñ (2018) donne une vue d'ensemble utile sur les sites du patrimoine mondial et le géopatrimoine.

En 2015, les 195 États Membres de l'UNESCO ont ratifié la création de la désignation des Géoparcs mondiaux de l'UNESCO, afin d'exprimer la reconnaissance internationale de l'importance d'une bonne gestion des sites géologiques exceptionnels. Les Géoparcs mondiaux de l'UNESCO sont des zones géographiques uniques, unifiées, où des sites et des paysages ayant une importance géologique internationale sont gérés dans un but global de protection, d'éducation et de développement durable. Quatre prérequis fondamentaux sont nécessaires pour qu'une zone devienne Géoparc mondial de l'UNESCO :

- Un patrimoine géologique de valeur internationale ;
- Un organisme de gestion légalement reconnu, et un plan de gestion exhaustif ;
- Une visibilité pour promouvoir le développement économique local durable, principalement par le biais du géotourisme ; et
- Une mise en réseau avec les populations locales vivant dans la zone du Géoparc mondial et une coopération avec d'autres géoparcs dans le monde par le biais du réseau de géoparcs mondiaux de l'UNESCO (GGN).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°10 : Se demander si l'aire protégée et ses caractéristiques et processus du géopatrimoine répondent aux critères de l'UNESCO dans le cadre de la Convention du Patrimoine mondial et/ou le Réseau des Géoparcs mondiaux.

En outre, la Convention de Ramsar sur les zones humides d'importance internationale et le Programme de l'UNESCO sur l'homme et la biosphère créent tous deux des systèmes mondiaux et une reconnaissance mondiale des zones d'importance pour la biodiversité (sites Ramsar et Réserves de biosphère, respectivement), où il existe des liens avec la géoconservation.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°11 : Se demander dans quelle mesure la géodiversité et le géopatrimoine dans les réserves de biosphère et les sites Ramsar peuvent être gérés pour assurer respectivement la conservation de la biodiversité et des zones humides, et celle du géopatrimoine.



Photo 4.16. Un site Ramsar protégé pour son intérêt en matière de géopatrimoine comme lac saisonnier, dans la région du Karst classique de Slovénie. Cerknisk Jezero. © John Gunn



Photo 4.17. Connexion entre le patrimoine mondial, Ramsar et le géopatrimoine dans le Parc national de Neusiedler See, Autriche. © Roger Crofts

Gérer le géopatrimoine dans les aires protégées et conservées

5



Une gestion confrontée à de nombreux défis dans les montagnes du Parc national de Rila, Bulgarie, du fait d'une ancienne consommation d'eau, d'infrastructures inesthétiques redondantes et du développement du ski, qui affectent négativement la valeur du géopatrimoine de la zone. Des évaluations indépendantes réalisées par des experts internationaux ont permis aux gestionnaires de se concentrer sur les actions nécessaires. © Roger Crofts

Cette section propose des orientations détaillées sur tous les aspects de la gestion du géopatrimoine, notamment la planification de la gestion, les aspects opérationnels, l'inclusion des valeurs spirituelles et culturelles, le suivi et évaluation, et la recherche. Elle répond aux points suivants :

- Planifier la gestion (5.1)
- Géoconservation et opérations dans les aires protégées (5.2)
- Appliquer les catégories de gestion de l'UICN au géopatrimoine (5.3)
- Inclure les valeurs spirituelles et culturelles du géopatrimoine (5.4)
- Elaborer un système de suivi et évaluation du site (5.5)
- Exemples de gestion de la géoconservation dans les aires protégées et conservées (5.6)

Cette section se focalise sur la gestion du géopatrimoine, qui remplit quatre fonctions : planification, organisation, direction et évaluation. Elles sont toutes pertinentes pour la géoconservation dans une aire protégée. Les lecteurs sont encouragés à consulter Worboys et al. (2020, chapitre 8) qui détaille plus précisément ces points.

5.1 Inclure la géoconservation dans les plans de gestion de l'aire protégée.

Prosser et al. (2018) offre un cadre général bien utile pour la géoconservation. Après l'inventaire et la sélection du site, deux étapes suivent : (1) une analyse des besoins de la conservation, qui demande une évaluation de l'utilisation, du caractère et des menaces/sensibilité d'un site ; et (2) la planification et la réalisation de la conservation.

En gros, ces deux étapes impliquent six exigences principales auxquelles il faudra répondre en incluant la géoconservation dans la préparation de plans de gestion exhaustifs pour le géosite, et son inclusion dans le plan de gestion de l'aire protégée au cas où le géosite est situé dans ses frontières. Cela suit globalement l'approche montrée par Wimbledon et al.

(2004). Les plans de gestion doivent être révisés et mis à jour régulièrement, et inclus au sein des plans de gestion de l'aire protégée ou de l'AMCE, tel qu'approprié.

1. Inventaire du site et documentation des principaux intérêts

Il existe diverses caractéristiques du géopatrimoine, comme des expositions de roches, des reliefs et des sols ; et diverses échelles géographiques depuis les petits affleurements rocheux jusqu'à des paysages comprenant des assemblages de roches, de reliefs et de sols. Tout ceci doit être localisé et documenté précisément au sein du géosite. Selon la taille du géosite, cela pourra être fait par des enquêtes de terrain et des photographies annotées, le tout réalisé par des spécialistes. Cependant, les résultats doivent être présentés dans un format accessible au personnel non-spécialiste (Encadré 5.1). Le processus d'inventaire et de documentation du géosite doit être réalisé de façon suffisamment détaillée pour cataloguer et cartographier les localisations précises de chaque caractéristique au sein du géosite, et fournir des détails sur les expositions de sédiments, et des photos annotées, afin de montrer aux gestionnaires d'aires protégées exactement quel est l'intérêt, et où il est situé dans le géosite. Dans certains cas, il pourra s'agir d'un processus en

Encadré 5.1.

Rapports de documentation du site et plans de gestion

Les 900 géosites identifiés comme importants à l'échelle nationale et internationale en Écosse sont soutenus par une évaluation détaillée de leur valeur scientifique, documentée dans l'Analyse de la conservation géologique (Ellis, 2011). En outre, pour aider les gestionnaires de sites, les propriétaires et les occupants, un Rapport de documentation du site et une Déclaration de gestion de site produite par le Scottish Natural Heritage (SNH) sont réalisés.

Le Rapport de documentation du site identifie et localise les principales caractéristiques présentant un intérêt au sein du site. Il est destiné au personnel géoscientifique du SNH chargé de fournir des conseils de gestion détaillés, ainsi qu'au personnel non-géoscientifique qui doit gérer le site. Les rapports sont basés sur des enquêtes de terrain, et sont écrits dans un langage non-technique, ou avec une explication claire des termes techniques. En général, les rapports incluent des explications simplifiées, mais scientifiquement exactes, de l'intérêt pour les sciences de la Terre, une carte géologique ou géomorphologique montrant les localisations des caractéristiques présentant un intérêt, et des photographies annotées de ces caractéristiques et leurs localisations au sein du site. Le rapport contient également des recommandations de gestion. Il est disponible pour les propriétaires, gestionnaires et occupants des terres, et toute personne intéressée, mais il n'est pas publié en ligne. Lorsque les sites sont vastes et complexes, des rapports plus détaillés sont rédigés dans le cadre de la série de rapports commandités par le SNH (par ex. Gemmell et al., 2001).

Les Déclarations de gestion de site sont des déclarations publiques préparées par le SNH pour les propriétaires, les gestionnaires et les occupants de terres présentant un intérêt scientifique spécial. Elles exposent les raisons de la désignation comme site d'intérêt scientifique spécial, et fournissent des conseils sur la façon dont conserver ou mettre en valeur les caractéristiques naturelles spéciales du site. Elles incluent une brève description des caractéristiques d'intérêt dans une langue simple, une évaluation de la condition du site, un résumé de la gestion passée et présente, et un ensemble d'objectifs de gestion. Par exemple, un des objectifs peut être de maintenir l'exposition géologique dans des conditions favorables, afin qu'elle soit clairement visible et accessible à des fins de recherche et d'éducation ; et d'encourager un accès touristique responsable au site à des fins de récréation, d'éducation et d'interprétation. Les Déclarations de gestion du site sont disponibles en ligne, par un lien vers le site du SNH.

Tableau 5.1 Classification des types de sites de géopatrimoine, menaces typiques et objectifs de conservation (Prosser et al., 2018, reproduit avec la permission des auteurs).

	Type de site	Code du site	Menaces typiques	Objectifs de conservation et de gestion typiques
Exposition ou étendu	Carrières et mines actives	EA	Remblai contre front de taille de carrière	Sécuriser l'accès pour enregistrement et collecte Sécuriser une restauration favorable à la conservation, avec rétention des fronts de taille de la carrière exposés
	Carrières et mines inactives	ED	Restauration par remblaiement Dégradation des fronts de taille par inondation et empiètement de la végétation	Maintenir les fronts de taille de la carrière exposés Contrôler l'empiètement de la végétation
	Falaises côtières et estrans	EC	Systèmes de protection des côtes - reprofilage des falaises Développement de marinas ou estran	Maintenir les processus naturels Décourager le développement devant ou en haut des expositions géologiques sur les falaises
	Sections de cours d'eau et courant	EW	Gestion de cours d'eau et stabilisation des berges Barrage sur cours d'eau Empiètement de la végétation	Maintenir les processus naturels Contrôler l'empiètement de la végétation
	Affleurement dans l'intérieur des terres	EO	Empiètement de la végétation Activité récréative inappropriée	Décourager le développement par rapport aux expositions Contrôler l'empiètement de la végétation
	Exposition mines et tunnels souterrains	EU	Caractéristiques inaccessibles Inondation et effondrement	Sécuriser l'accès pour enregistrement et collecte Chercher des solutions à long terme contre les inondations et l'effondrement des mines
	Important intérêt enfoui	EB	Développement au-dessus des caractéristiques enfouies Pratiques agricoles qui endommagent les caractéristiques enfouies, par ex. la-bourage profond	Garantir l'absence d'obstacles physiques pour restreindre l'excavation de caractéristiques lorsque nécessaire
	Tracés de route, voie ferrée, canal	ER	Expositions voilées par le travail de stabilisation, en utilisant du béton ou un filet de protection Dégradation des expositions liée aux inondations et à l'empiètement de la végétation	Veiller à ce que les expositions soient retenues si la route est élargie – Contrôler l'empiètement de la végétation
Intégrité	Statique (fossile) géomorphologique	IS	Extraction de minéraux Empiètement de la végétation ou plantation d'arbres	Maintenir l'intégrité de la caractéristique Décourager les carrières ou plantation d'arbres
	Processus géomorphologique actif	IA	Systèmes de protection côtière Système de gestion fluvial Carrière et dragage	Maintenir les processus naturels Décourager le développement dans les zones pouvant être affectées à l'avenir, avec la migration des processus
	Grottes	IC	Carrières et mines Pollution Collecte irresponsable de spécimens	Maintenir les réseaux hydrologiques Promouvoir des bonnes pratiques avec les groupes de spéléologie
	Karst	IK	Carrières Empiètement de la végétation	Maintenir l'intégrité des caractéristiques Contrôler l'empiètement de la végétation
Fini	Minéraux, fossile ou autre élément géologique fini	FM	Carrière et mine Collecte irresponsable de spécimens	Gérer la collecte pour garantir un gain scientifique maximum
	Décharge de mine	FD	Reprofilage ou nivelage Collecte irresponsable de spécimens Empiètement de la végétation	Gérer la collecte pour garantir un gain scientifique maximum Contrôler l'empiètement de la végétation
	Mines et tunnels souterrains finis	FU	Inondation et effondrement Collecte irresponsable de spécimens	Sécuriser l'accès pour enregistrement et collecte Chercher solutions à long terme contre les inondations et l'effondrement des mines
	Intérêt enfoui fini	FB	Carrière ou mine Développement au-dessus des caractéristiques enfouies Pratiques agricoles qui endommagent les caractéristiques enfouies, par ex. la-bourage profond	Garantir l'absence d'obstacles physiques pour restreindre l'accès aux caractéristiques lorsque nécessaire Gérer la collecte pour garantir un gain scientifique maximum

deux étapes : inventaire initial de tous les sites candidats dans une aire, afin d'établir leur intérêt et leur pertinence (section 4.2) ; et une documentation plus détaillée des géosites confirmés en s'appuyant sur l'inventaire initial du site.

2. Spécification des objectifs généraux de gestion, et des indicateurs de performance

La géoconservation, comme toute aire protégée ou projet de conservation, exige des objectifs de gestion clairs qui reflètent les différents types d'intérêts du géopatrimoine et leurs usages potentiels. Ces objectifs sont identifiés pour garantir que la gestion cherche à les atteindre. Des objectifs spécifiques doivent être établis pour chaque site en reflétant les orientations générales, et doivent aussi être ciblés selon les spécificités du géosite, comme montré par Wimbledon et al. (2004). Ils doivent définir la vision des conditions favorables pour le site (par ex. au moins 50% du site aura des expositions propres et accessibles d'une séquence rocheuse particulière et de ses principales caractéristiques). Les facteurs pouvant impacter les conditions d'un site (par ex. accumulation d'éboulis, croissance de la végétation, rejet de déchets, dommages provenant d'un accès public non-restreint) doivent être identifiés. En outre, les attributs mesurables utilisés pour déclencher une réponse des gestionnaires doivent être spécifiés (par ex. si moins de 70% d'un horizon essentiel n'est plus visible du fait de la détérioration de l'exposition).

En Grande-Bretagne, les principes généraux de gestion de la conservation ont été élaborés pour différentes catégories de sites, et une distinction importante est faite entre sites « d'exposition » (ou « étendus »), « d'intégrité », et « finis » (Tableau 5.1) (Prosser et al., 2006, 2018). Ce schéma se base sur le postulat que différentes catégories de sites ont différentes

exigences de conservation ; par ex. les problèmes de gestion dans les carrières abandonnées sont différents de ceux des sites côtiers. Cette approche doit avoir une vaste applicabilité. Prosser et al. (2006) fournit des études de cas spécifiques pour chacune de ces catégories.

Sites d'exposition

Les sites d'exposition abritent des caractéristiques géologiques (unités rocheuses ou sédiments) qui sont spatialement étendues sous le niveau du sol, afin que si un site ou une exposition est perdue, un/une autre peut potentiellement être excavé à côté. Ils incluent les expositions dans les carrières actives et inactives, les falaises côtières et fluviales, les tracés de routes et de voies ferrées, et les affleurements rocheux naturels. Le principe de base de la conservation est que la suppression des matériaux n'endommage pas nécessairement la ressource, car de nouvelles expositions du même type seront fraîchement exposées.

Le principal objectif de gestion de tels sites est d'obtenir et de maintenir un niveau d'exposition acceptable des caractéristiques d'intérêt, mais la localisation précise de l'exposition n'est pas cruciale. Les sites d'exposition ne sont en général pas endommagés par les carrières ou l'érosion, mais les expositions peuvent être obscurcies par l'enfouissement et le déversement de déchets, ou détériorées par l'effondrement et la croissance de la végétation. Cependant, la perte d'expositions peut être compensée par une excavation mécanique de nouvelles expositions de conservation ailleurs, dans des localisations appropriées.

Sites d'intégrité

Les sites d'intégrité sont des sites géomorphologiques qui incluent des caractéristiques statiques (inactives) (par ex. reliefs



Photo 5.1. Exemple de *site d'exposition* vu depuis la mer, péninsule de Dale, Parc national côtier du Pembrokeshire, Pays de Galles. © Roger Crofts



Photo 5.2. Exemple de *site d'exposition* avec l'effondrement naturel de fronts de falaises révélant de nouvelles expositions rocheuses. Parc national de Jasmund, Allemagne. © Roger Crofts



Photo 5.3 Exemple d'un *site d'intégrité* actif, où la rivière glaciaire Jökulsá á Fjöllum émerge du glacier de Dyngjufjökull. Parc national de Vatnajökull, Islande. © Roger Crofts



Photo 5.4 Exemple de *site d'intégrité* inactif. Lapiaz calcaire près de Doolin, dans le Géoparc mondial de l'UNESCO Burren et Cliffs of Moher et le Parc national de Burren, Irlande. © John Gunn



Photo 5.5 Exemple de *site fini*. Occurrence extrêmement rare en Islande de fossiles de plantes enfouis sous des laves plus récentes. Ytritunga Tjornes, Islande. © Roger Crofts



Photo 5.6 Documenter le changement naturel est un élément important de la planification et de la gestion d'une aire protégée. Cartes de retrait d'un glacier islandais dans le Parc national de Vatnajökull. © Roger Crofts

glaciaires du Pléistocène) et des caractéristiques actives comme celles formées par les processus fluviaux, côtiers, karstiques et glaciaires contemporains. De tels sites peuvent être de grande taille, et inclure des assemblages de caractéristiques statiques et actives. Les dommages portés sur une partie d'un site d'intégrité sont susceptibles d'avoir un impact sur la valeur de l'ensemble du site. Le principal objectif de gestion pour les caractéristiques statiques est la protection de l'intégrité de la ressource : si les caractéristiques sont endommagées ou détruites, elles ne peuvent être rétablies ou remplacées, puisqu'elles sont uniques et les processus qui les ont formées ne sont plus actifs. Elles sont également sensibles aux dommages partiels et à la fragmentation de l'intérêt, et l'intégrité de relations spatiales importantes entre des reliefs individuels peut être perdue. En général, il y a peu d'options pour réconcilier la conservation et le développement par le biais de la gestion ou de la compensation. L'atténuation dépendra des circonstances locales, et pourra inclure la réimplantation de parties du développement, pour éviter les principaux reliefs. Occasionnellement, la reconstruction ou la reproduction du relief peut être possible à des fins esthétiques ou éducatives, même si l'intégrité sera perdue. Dans d'autres situations, restreindre l'accès au public, ou même refuser de faire la publicité de l'existence d'un site du fait de sa fragilité, peuvent se justifier.

Le principal objectif de gestion de la conservation pour les sites d'intégrité est de maintenir la capacité des processus actifs à évoluer naturellement, en leur permettant de fonctionner dans la plupart ou la totalité de leur gamme naturelle de variabilité, et donc de maintenir les taux naturels et les ampleurs de changement, et la connectivité entre les différentes

caractéristiques (par ex. entre les cours d'eau et leurs plaines d'inondation). En conséquence, les reliefs produits par ces sites peuvent changer au fil du temps, et certains peuvent même être transitoires. Ils peuvent également se reformer dans d'autres localisations. Par exemple, les bancs de gravier dans le lit d'une rivière peuvent être détruits par une grande inondation, mais peuvent se reformer lorsque le déversement et le transport des sédiments se réajustent aux conditions de flux « normales ». Les sites de processus actifs sont également susceptibles de changer hors des frontières du site de conservation (par ex. par le biais de changements en amont qui affectent le déversement du cours d'eau et les apports en sédiments).

Cela est plus susceptible d'avoir lieu sur des sites ayant des processus en rapport avec des cours d'eau, des côtes, des grottes ou des pentes, et leurs caractéristiques associées. Certains sites actifs peuvent également abriter des reliefs inactifs qui font partie de l'assemblage total du relief.

Sites finis

Les sites finis abritent des caractéristiques de portée limitée, qui seront épuisées et endommagées si l'une de leurs ressources est retirée ou perdue. Citons comme exemple les sites géologiques avec des roches porteuses de fossiles. Ces sites peuvent se trouver dans diverses localisations, notamment dans des carrières actives et inactives, le long des côtes et des cours d'eau. Dans certains cas, l'intérêt peut être progressivement enfoui du fait de difficultés pratiques à maintenir les expositions dans des sédiments tendres, ou peut l'être intentionnellement comme mesure pratique de conservation, afin de protéger un intérêt particulièrement vulnérable. Les sites finis exigent un contrôle étroit sur tout retrait ou perte de matière. Ils incluent de nombreux dépôts minéraux et fossiles, des décharges de mines, des mines souterraines et des intérêts enfouis (où on sait que l'intérêt a lieu sous le sol, et ne peut qu'être exposé au moyen d'une excavation). En général, les mesures d'atténuation ou de compensation sont rarement possibles. Lorsqu'un site est principalement utilisé à des fins de recherche, il n'est pas toujours pratique ou nécessaire de maintenir une exposition. Dans de tels cas, l'accès doit être maintenu pour l'excavation, tel que requis par l'étude.

En général, le développement est a priori vu défavorablement lorsqu'il se produit dans une aire protégée et qu'il l'endommage et vient s'opposer aux raisons de sa protection. Lorsque le développement entraînera un dommage significatif à une aire protégée de géoconservation, et qu'il ne peut être empêché ou atténué correctement, des sites alternatifs convenables au développement doivent être recherchés. En l'absence de telles alternatives, le développement qui aurait un impact négatif sur le site ne doit être permis que si des raisons de durabilité ou d'importance nationale sont en jeu. Dans de tels cas, des mesures de compensation doivent être recherchées, comme la création d'exposition ou l'amélioration du site ailleurs si possible, afin de maintenir, restaurer et lorsque possible renforcer la valeur du géopatrimoine du site ou de l'aire. La Section 6 donne des conseils plus détaillés sur les menaces spécifiques, et la façon dont y répondre.



Photo 5.7 Il est essentiel de remarquer les changements historiques dans l'embouchure du fleuve pour développer la gestion future de l'aire protégée. Parc national de Skjern Å, Danemark. © Roger Crofts

3. Analyse des menaces : Évaluation des risques et de la vulnérabilité aux pressions et menaces

Pour aider à prioriser l'action des gestionnaires, une analyse des menaces et une évaluation des risques issus des différents types d'activité humaine et des changements naturels devront être réalisés (voir Section 6 pour plus de détails). Les principes et la méthodologie de l'évaluation environnementale stratégique et de l'évaluation d'impact environnemental, ainsi que l'application du principe de précaution, donnent des modèles précieux (Cooney, 2004 ; Cooney & Dickson, 2005).

4. Suivi de la condition du site

Le suivi périodique des aires protégées de géoconservation est essentiel pour définir la condition et l'état des caractéristiques présentant un intérêt ; que celles-ci soient changeantes ou pas, et si oui, comment ; et que les objectifs de conservation soient atteints ou pas. Cet élément n'est pas facilement accompli et est même souvent ignoré, surtout si les ressources sont limitées.

Cette section porte sur un suivi relativement simple et rapide de la condition du site qui peut renseigner la gestion de la conservation. Des approches plus détaillées sur le suivi de l'aire protégée et le suivi lié aux questions de sécurité sont présentées dans la Section 5.5.

Plusieurs systèmes de suivi de site existent ou sont proposés, par exemple en Grande-Bretagne (Werritty et al., 1998 ; Ellis, 2004), en Espagne (Garcia-Cortes et al., 2012), et en Tasmanie, Australie (RPDC, 2013). Plus spécifiquement, le Service des Parcs nationaux américains a publié des Lignes directrices pour le suivi des ressources géologiques et paléontologiques (Santucci & Koch, 2003 ; Santucci et al., 2009). Des protocoles pour le suivi doivent être mis en place, avec notamment l'établissement d'un niveau de référence, une liste des principaux attributs mesurés, et des objectifs (Tableau 5.2). Les indicateurs d'intégrité du site s'appliquent aux sites ayant une signification particulière pour la géoconservation, et lorsque le degré d'intégrité physique ou la dégradation des sites et des caractéristiques a été identifié comme problématique pour la géoconservation. Cela s'est produit dans l'exemple tasmanien cité ci-dessus. Les indicateurs d'intégrité du processus mesurent le degré d'intégrité ou de dégradation des processus géomorphologiques ou des sols : ces processus gouvernent l'intégrité à long terme des sites, des caractéristiques et des systèmes ayant une importance pour la géoconservation (et générale). Les indicateurs d'intégrité du processus donnent une mesure de la durabilité du relief naturel et des processus des sols

(RPDC, 2013). Un ensemble de géo-indicateurs a été mis au point pour les parcs nationaux du Canada (Welch, 2004).

La fréquence du suivi est déterminée par la dégradation potentielle du site. Le suivi doit être assorti de mesures correctives, en partenariat avec les propriétaires et gestionnaires du site, dans le cadre de la révision du plan de gestion (Wimbledon et al., 2004). La photographie sera un outil important. Par ex., un cycle de suivi de cinq ans sera probablement justifié pour des caractéristiques fragiles comme le travertin, et un cycle bien plus long de plus de 10 ans pour les caractéristiques en roches dures.

En Espagne, une approche novatrice pour le suivi et la gestion respectueuse des sites a été mise en œuvre. Elle implique un



Photo 5.8 Faire passer de façon simple et didactique un message sur des risques potentiels. Bande-dessinée réalisée par le Parc national du Cotopaxi, Équateur. © Roger Crofts

Tableau 5.2 Attributs recommandés du suivi de la condition du site et objectifs globaux (adapté de Ellis, 2004 ; RPDC, 2013 ; Wignall, 2019).

Attribut	Description	Objectif global pour une condition favorable
Intégrité du site : attributs physiques	Cet attribut fait référence à la condition physique des caractéristiques, qui forment la base de la sélection du site, y compris l'absence de perturbations, dommages physiques ou fragmentation des intérêts. Les attributs physiques des caractéristiques principales incluent l'étendue, la composition, et la structure des caractéristiques et, lorsque pertinent, leur quantité et morphologie. Pour les sites avec des processus actifs, les attributs physiques incluent également la présence de reliefs et autres caractéristiques physiques (par ex. érosion ou dépôts), qui indiquent que les processus restent actifs.	Les attributs physiques des principales caractéristiques et l'intégrité physique du site restent intacts et non-perturbés.
Intégrité du site : visibilité	Cet attribut fait référence à l'absence de dissimulation (par ex. par de la végétation, la construction d'un talus, des constructions d'ingénierie ou des bâtiments) des caractéristiques essentielles qui sont à la base de la sélection du site ; et si des vues convenables de près et/ou distantes sont disponibles et accessibles sans danger.	Les principales caractéristiques du site restent visibles de près et de loin, tel qu'approprié.
Intégrité du processus : dynamique du processus	Cet attribut est suivi seulement pour les caractéristiques géomorphologiques des processus actifs. Cela fait référence à la capacité des processus géomorphologiques qui sont à la base de la sélection du site d'évoluer naturellement et sans obstacles. Il ne doit pas y avoir de contraintes artificielles (par ex. des défenses côtières, ou une protection des berges des cours d'eau). Les activités comme l'extraction de sable et de gravier peuvent également perturber les processus naturels, et sont pertinentes pour cet attribut ainsi que pour les attributs physiques. En outre, des facteurs externes au site peuvent également affecter la dynamique du processus au sein du site (par ex. installation de barrages en amont d'un cours d'eau).	Les processus géomorphologiques naturels qui sont les principales caractéristiques du site, y compris leurs niveaux d'activité et leur étendue spatiale, ne sont pas perturbés ou entravés.
Indicateurs négatifs	Cet attribut fait référence à la présence de tout facteur, activité ou changement à proximité du site qui pourrait l'impacter négativement à l'avenir (par ex. déversement de déchets, croissance d'arbres spontanés (auto-ensemencés), ou érosion accrue susceptible d'entraîner une demande de défenses côtières). Les indicateurs négatifs peuvent être utilisés pour déterminer si une analyse de la gestion du site est nécessaire. Les problèmes qui affectent déjà les autres attributs ci-dessus seront également pertinents ici, s'ils sont susceptibles d'exiger une analyse de la gestion du site afin d'empêcher qu'ils deviennent des problèmes permanents.	Il n'y a pas d'activités ou de changements évidents à proximité du site qui pourraient, à l'avenir, affecter un ou plusieurs des attributs ci-dessus.

programme national « Apadrina Una Roca » (Adopter une roche), dans lequel les volontaires s'inscrivent pour visiter les sites tous les ans, et faire rapport à l'Étude géologique d'Espagne au sujet de toute menace ou incident remarqué (<http://www.igme.es/patrimonio/ApadrinaUnaRoca.htm>). Même si cette approche ne remplace pas un suivi formel de la condition du site, elle peut fournir un avertissement précoce sur des menaces ou une détérioration significative de la condition du site.

Un autre exemple de programme réussi est le suivi de la condition du site entreprise pour les aires protégées en Grande-Bretagne. Il se base sur un ensemble de normes communes (JNCC, 2019). Wignall (2019) donne des détails de la méthodologie telle qu'elle est appliquée aux caractéristiques de géopatrimoine dans les sites d'intérêt scientifique spécial en Écosse sur la période 1999-2019. Sur les 666 caractéristiques de géopatrimoine suivies, 3% ont été endommagées de façon irréversible, et 10% ont besoin de mesures correctives pour les restaurer.

5. Identification des zones pour faciliter la gestion

Chaque partie de l'aire protégée n'aura pas la même valeur de conservation, et donc pourra avoir besoin de régimes de

gestion différents, à condition que ceux-ci soutiennent bien sûr l'objectif de conservation global. Nous recommandons d'utiliser les Catégories de gestion des aires protégées de l'UICN (Section 5.4) et un outil approprié pour le zonage. Par exemple, un site de géoconservation de Catégorie III d'aires protégées peut être entouré par des zones bien plus vastes de Catégorie II ou V. En réalité, il y aura des situations où il y a un nombre d'éléments importants du géopatrimoine qui exigent une conservation au sein d'une aire protégée, dans ce cas de multiples zones centrales et zones tampons avoisinantes seront l'approche la plus appropriée. L'identification et la gestion des zones centrales et tampons pour les aires protégées de géoconservation dépendent de la raison précise de la désignation, et donc du type d'aire qui est protégée. Il y aura probablement une différence importante entre la définition de zones centrales et tampons pour les aires petites et discrètes - par ex. qui protègent une caractéristique du géopatrimoine précise, comme un monument national - et pour les grands géosites qui associent plusieurs caractéristiques, et où il est essentiel de préserver le fonctionnement efficace des processus terrestres. Dans le dernier cas, il est nécessaire de prendre en compte les processus abiotiques à une plus grande échelle écosystémique. Par ex., conserver les caractéristiques



Photos 5.9 et 5.10 Un lahar, un torrent de boue volcanique issu de l'éruption du Cotopaxi, Équateur, cause dévastation et souvent la mort. 5.9 © José Brilha 5.10 © Roger Crofts

Tableau 5.3 Opérations dans l'aire protégée bénéficiant de l'expertise des sciences de la Terre.

Opération dans l'aire protégée	Nature de l'action	Contributions de l'expertise des sciences de la Terre
Construction de routes et de pistes d'accès, et maintenance	Sélection du type de matériel pour les routes et les pistes	Le matériel provenant de l'extérieur doit être évalué pour sa compatibilité environnementale et géologique au sein de l'aire protégée, son aptitude en matière d'ingénierie pour la route, et son rapport efficacité-prix. Le matériel provenant de l'intérieur doit être évalué pour l'impact des carrières potentielles dans l'aire protégée, et son aptitude en matière d'ingénierie.
Construction de sentiers de randonnée	Sélection des sentiers	Il faut connaître la sensibilité de la surface terrestre aux dommages (par ex. dépôts volcaniques tendres, toundra avec une fonte estivale en surface), qu'une surface naturelle ou des matériaux artificiels soient nécessaires (par ex. chaussée), et que des routes à sens unique ou allers-retours soient appropriées.
Construction de sentiers de randonnée	Sélection du type de matériel pour les sentiers de randonnée	L'évaluation des matériaux parents pour un sentier de randonnée doit identifier les techniques de construction convenables, et la nature de la gestion future de la maintenance pour le sentier. Dans un paysage volcanique, les flux de lave successifs de divers types peuvent présenter des types de matériel de sentier avec des aptitudes différentes.
Matériel de construction	Sélection et utilisation des matières rocheuses pour la construction	Il convient de réaliser une évaluation de la compatibilité, de l'ingénierie et de l'aptitude environnementale du matériel de construction rocheuse provenant de l'extérieur, pour utilisation au sein de l'aire protégée. Toute extraction de roches provenant de l'aire protégée doit être étudiée avec soin, et soumise à une évaluation d'impact environnemental.
Barrages	Construction de barrages au sein du parc, pour les opérations de lutte contre les incendies ou comme points d'approvisionnement en eau pour la faune sauvage	Il convient de réaliser une évaluation de l'aptitude du matériel géologique parent pour accueillir un barrage.
Puits de forage	Puits de forage pour la consommation humaine ou de la faune sauvage, ou pour les opérations de lutte contre les incendies	Il convient de réaliser une évaluation pour placer de façon optimale les puits de forage dans le sous-sol.
Structures de contrôle de l'érosion	Construction de structures de contrôle de l'érosion	Il convient de fournir des contributions techniques pour la conception et le placement des structures de contrôle de l'érosion installées pour la restauration du paysage et d'autres travaux.
Sécurité : suivi de la stabilité rocheuse	Suivi de la stabilité rocheuse	Un suivi de routine des structures naturelles présentant des problèmes de sécurité doit être réalisé, comme par ex. le potentiel d'effondrement. Il peut s'agir de falaises surplombantes, de grottes ou d'éboulis rocheux instables dans les montagnes escarpées.
Sécurité : volcans dangereux	Faciliter le suivi des volcans actifs ou dormants	Il convient de compléter les données du suivi de routine pour les volcans, y compris le potentiel d'éruptions, en collaboration avec les organisations d'étude géologique.
Sécurité : environnements épithermiques	Faciliter le suivi des geysers et des nappes souterraines surchauffées	Il convient de réaliser le suivi de routine de ces environnements extrêmes pour la gestion de la sécurité des visiteurs. Des responsabilités spécifiques doivent être définies pour la protection des espèces extrémophiles.
Sécurité : flux de lahar	Suivi pour avertir de ces événements dangereux	Il convient de réaliser un suivi de routine pour identifier l'avertissement d'événements rapides afin de protéger le public.
Sécurité : gaz dangereux - volcans	Faciliter le suivi des niveaux dangereux de gaz, comme le niveau de dioxyde de soufre dans les paysages volcaniques	Il convient de réaliser un suivi de routine de ces environnements volcaniques extrêmes pour la gestion de la sécurité des visiteurs, de préférence avec des organisations d'étude géologique.
Sécurité : gaz dangereux - grottes	Suivi dans les grottes pour les gaz, comme le dioxyde de carbone et le radon	Le suivi de l'atmosphère dans les grottes est réalisé pour veiller à la sécurité des utilisateurs. Des concentrations élevées de dioxyde de carbone posent un risque pour la santé et peuvent, dans certains cas exceptionnels, atteindre des niveaux mortels. Le personnel peut accumuler des doses de radiation du fait de l'exposition au radon.
Sécurité : bassins karstiques	Précipitations excessives dans les bassins karstiques	Un suivi des conditions climatiques locales est réalisé, pour empêcher tout impact sur les visiteurs, notamment les spéléologues, dû aux événements climatiques extrêmes, aux précipitations excessives et aux flux d'eau souterraine extrêmes.

Tableau 5.3 Opérations dans l'aire protégée bénéficiant de l'expertise des sciences de la Terre (suite)

Opération dans l'aire protégée	Nature de l'action	Contributions de l'expertise des sciences de la Terre
Sécurité : activité sismique et tsunamis	Suivi collaboratif de l'activité sismique	L'information sur l'activité sismique est rassemblée pour offrir aux gestionnaires d'aires protégées des données permettant de prédire l'impact potentiel des tsunamis sur les visiteurs et le personnel. Le potentiel des tsunamis doit être décomposé dans la planification, la conception et la localisation de pistes de randonnée côtière potentiellement vulnérables.
Changement climatique : glace	Suivi du gel et dégel saisonniers des lacs	Il convient de réaliser le suivi du « premier gel » et « premier dégel » annuels de la glace sur les lacs de montagne, afin d'identifier tout changement à long terme dû au changement climatique.
Changement climatique : glaciers	Suivre la diminution de la taille des glaciers de montagne	Il convient de réaliser un suivi de l'étendue et de la rapidité du recul des glaciers de montagne, de la fonte des lacs glaciaires, et du potentiel d'inondations suite au débordement des lacs glaciaires du fait du changement climatique. Il convient de réaliser une évaluation des risques liés aux dangers accrus provenant des éboulements et de la déstabilisation des moraines suite au recul des glaciers et à la fonte du permafrost.
Changement climatique : changements des processus côtiers	Suivre le changement des conditions des caractéristiques côtières	Il convient de réaliser une évaluation des effets de l'élévation du niveau de la mer et des intrusions d'eau de mer dans les terres, et des prévisions de l'accroissement des tempêtes sur les caractéristiques côtières, y compris l'accroissement des risques provenant des éboulements ou des glissements de terrain sur des côtes escarpées, comme base pour mettre en place des réponses potentielles de gestion.
Changement climatique : changements des processus fluviaux	Suivre le changement des conditions des systèmes fluviaux	Il convient de réaliser un suivi des effets de tempêtes plus graves dans les bassins versants et en aval, afin d'aider à déterminer la réponse des gestionnaires face au changement des reliefs, au taux d'érosion ou autres effets.
Changement climatique : changements du permafrost	Suivre le changement de la condition des zones de permafrost	Il convient de réaliser le suivi de la fonte du permafrost et des effets sur le paysage de l'aire protégée, les systèmes d'accès et les structures, y compris l'évaluation des risques accrus provenant des éboulements ou glissements de terrain, et les conséquences pour la sécurité du public.

d'une vallée fluviale du fait de son intérêt et de son importance en matière de biodiversité et géodiversité ne peut se faire durablement sans s'assurer que le régime hydrique en amont

de l'aire protégée n'est pas radicalement changé de façon non-naturelle, ou significativement endommagé par l'activité humaine. De même, dans le cas de caractéristiques géomorphologiques comme les grottes, une gestion des activités humaines dans le bassin hydrographique plus large peut être nécessaire pour préserver les caractéristiques d'intérêt dans les réseaux de grottes en aval.

6. Évaluation des opportunités potentielles d'interprétation, de promotion et de géotourisme

Dans le cadre des activités de promotion, d'interprétation et d'éducation, il convient d'inclure une évaluation appropriée des risques et des capacités de charge pour gérer les visiteurs sur les sites sensibles (voir Section 8 pour plus de précisions). Tous les géosites ne sont pas appropriés pour le géotourisme, à cause de la sensibilité de l'intérêt, de risques particuliers, ou d'autres contraintes de gestion. Certains sites peuvent même être très sensibles - ceux avec des fossiles et minéraux rares ont par exemple besoin d'être protégés des activités des collecteurs commerciaux et de la collecte irresponsable de fossiles, qui peuvent endommager l'intérêt scientifique et réduire les opportunités de recherche future. D'autres sites peuvent être vulnérables au piétinement, qui peut endommager voire détruire certaines formes fragiles comme les nouvelles laves. La gestion de l'accès, par le biais







de systèmes de permis ou de visites accompagnées, est une façon évidente de gérer la sensibilité que connaissent bien les gestionnaires d'aires protégées. Lorsqu'un site présente un intérêt culturel et/ou spirituel, il convient de maintenir également un accès traditionnel. Dans le cas des sites où l'intérêt est en processus actif, ou lorsque l'atténuation des risques pour les visiteurs n'est pas réalisable, il conviendra de réaliser une évaluation des risques accrus, et de mettre en œuvre des actions appropriées, comme l'exclusion ou le détournement de l'accès des visiteurs, et la gestion des attentes des visiteurs (voir Sections 5.3, 5.6 et 6.4).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°12 : Suivre le cadre général en deux étapes d'analyse des besoins en conservation, et de la planification de la conservation, et la conclusion pour inclure la géoconservation dans les plans de gestion des aires protégées.

5.2 Géoconservation et opérations dans les aires protégées

Les opérations de gestion pour une aire protégée sont décrites en détail dans Jacobs et al., 2020. Cela inclut des conseils sur la programmation, la planification et la réalisation d'opérations. Les opérations sont décrites comme « la mise en œuvre tactique de projets liés à des programmes axés stratégiquement », ce qui englobe la plupart des actions dans une aire protégée. La compréhension des intérêts des sciences de la Terre est très importante pendant les étapes de planification d'une opération.

Tableau 5.4 Géopatrimoine et catégories de gestion des aires protégées de l'UICN.

No.	Numéro de Catégorie ; Nom	Description	Exemple de géopatrimoine	Photo
Ia	(Ia) Réserve naturelle intégrale	Intégralement protégées pour protéger la biodiversité et aussi, éventuellement, des caractéristiques géologiques/ géomorphologiques, où les visites, l'utilisation et les impacts humains sont strictement contrôlés et limités pour garantir la protection des valeurs de conservation.	Surtsey, Islande : Île volcanique ayant émergé en 1963, avec un accès strictement limité pour la recherche scientifique	 © Roger Crofts
Ib	(Ib) Zone de nature sauvage	Généralement de vastes aires intactes ou légèrement modifiées, qui ont conservé leur caractère et leur influence naturels, sans habitations humaines permanentes ou significatives, qui sont protégées et gérées aux fins de préserver leur état naturel.	Zone de nature sauvage de forêt pétrifiée, États-Unis : grande zone d'arbres fossilisés.	 © José Brilha
II	(II) Parc national	Vastes aires naturelles ou quasi naturelles mises en réserve pour protéger des processus écologiques de grande échelle, ainsi que les espèces et les caractéristiques des écosystèmes de la région, qui fournissent aussi une base pour des opportunités de visites de nature spirituelle, scientifique, éducative et récréative, dans le respect de l'environnement et de la culture des communautés locales.	Parc national du Kilimandjaro, Tanzanie : grand volcan central dans la vallée du Rift d'Afrique de l'Est.	 © Roger Crofts
III	(III) Monument ou élément naturel	Aire mise 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.	Réserve de conservation du karst de Jenolan, Australie : grottes importantes avec des fossiles marins siluriens.	 © Anne Musser
IV	(IV) Aires de gestion des habitats ou des espèces	Aire pour protéger des habitats ou espèces particuliers, et où la gestion reflète cette priorité ; pour beaucoup, des interventions actives de gestion régulières sont nécessaires pour répondre aux besoins des espèces ou des habitats particuliers, mais ce n'est pas une exigence de la catégorie.	Île de Rum, Écosse, Royaume-Uni : formations volcaniques et reliefs périglaciaires.	 © Roger Crofts
V	(V) Paysage terrestre ou marin protégé	Aire protégée où l'interaction des hommes et de la nature a produit, au fil du temps, une aire qui possède un caractère distinct, avec des valeurs écologiques, biologiques, culturelles et panoramiques considérables, et où la sauvegarde de l'intégrité de cette interaction est vitale pour protéger et maintenir l'aire, la conservation de la nature associée ainsi que d'autres valeurs.	Géoparc d'El Hierro, îles Canaries, Espagne : une île géologiquement jeune, avec des caractéristiques volcaniques bien préservées, et comprenant plusieurs aires protégées de Catégorie V.	 © http://c0.thejournal.ie/media/2014/04/el-hierro-390x285.jpg
VI	(VI) Aire protégée avec utilisation durable des ressources naturelles	Aire protégée qui conserve les écosystèmes, ainsi que les valeurs culturelles et les systèmes de gestion des ressources naturelles traditionnels associés ; en général de grande taille, en condition naturelle, avec une partie où la gestion des ressources naturelles se fait de façon durable, et où l'utilisation à faible niveau de façon non-industrielle des ressources naturelles compatible avec la conservation de la nature est vue comme l'un des principaux objectifs.	Great Barrier Reef National Park, Queensland, Australia: General Use Zone Gross Morne World Heritage Site and National Park, Canada: Community Area (over 180,000 ha in extent; ancestral home of the Mi'kmaq people)	 © fairfaxstatic.co.au

La plupart du personnel des aires protégées qualifié de niveau tertiaire a eu une formation en sciences de la Terre - au moins au lycée ou dans le supérieur. Certains gardes forestiers peuvent être formés en sciences de la Terre, et travailler aux côtés de botanistes, zoologues, anthropologues et autres collègues spécialistes dans les aires protégées. Il y a de nombreux domaines opérationnels où leur expertise et formation géologique peuvent être utilisés (Tableau 5.3).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°13 : Utiliser une approche systématique pour orienter les opérations de gestion, notamment le caractère approprié des matériaux pour les sentiers et les bâtiments, les évaluations des principaux risques, et les effets du changement climatique.

5.3 Application des catégories de gestion des aires protégées de l'UICN à la géoconservation

L'UICN identifie six catégories d'aires protégées (une avec une sous-division), selon la façon dont l'aire est gérée ; Dudley (2008) fournit les raisons et Stolton et al. (2013) donne davantage de détails. Des caractéristiques et processus importants de géopatrimoine peuvent être présents dans toutes les catégories d'aires protégées (Tableau 5.4).

Les aires protégées importantes pour la géodiversité et le géopatrimoine existent dans toutes les catégories, même si certaines catégories de gestion sont plus susceptibles d'être appliquées aux aires uniquement ou essentiellement démarquées pour leur importance géologique ou géomorphologique. La Catégorie Ia, Réserve naturelle intégrale, peut représenter une option importante pour les sites ayant un géopatrimoine très fragile. Les roches et les reliefs sont parfois plus fragiles que la végétation vivante, car ils sont moins facilement remplaçables une fois dégradés. Les réserves qui protègent les lits fossiles importants pour retracer l'histoire de la Terre peuvent être de Catégorie Ia, où les visiteurs n'ont accès que par des sentiers restreints ou des chaussées délimitées. Certains grands parcs nationaux de Catégorie II sont ainsi désignés principalement pour leurs caractéristiques de géopatrimoine. La Catégorie III, Monument national, peut être utile pour les géosites car elle est généralement assignée à des lieux ayant une caractéristique particulière, comme des grottes, formations rocheuses, ou affleurements de minéraux. La Catégorie IV, destinée à protéger les espèces et les habitats, ne conviendra en général pas aux géosites, mais elle peut cependant inclure des sites avec des affleurements rocheux, des falaises ou autres caractéristiques qui fournissent des habitats ; des zones avec des minéraux, sols ou types de roches particuliers (par ex. calcaire) en soutien d'habitats spécialisés et d'espèces ; ou des reliefs et processus géomorphologiques qui soutiennent une diversité d'habitats et d'espèces ou de régimes de perturbation. Les paysages protégés et aires d'utilisation durable des ressources naturelles (Catégories V et VI, respectivement) sont également moins susceptibles d'être utilisés pour les sites dédiés principalement à la géoconservation, même s'ils peuvent convenir dans les cas où la géologie ou l'utilisation traditionnelle des roches ou minéraux, par ex., a contribué au développement d'un paysage culturel.

Plus globalement, les aires protégées avec de nombreuses valeurs qui *incluent* également par hasard le géopatrimoine peuvent se trouver dans n'importe quelle catégorie. Le Parc national de Thingvellir, Islande (Catégorie II) est une zone où les plaques tectoniques nord-américaine et eurasiennne s'éloignent, mais il revêt également une énorme valeur culturelle en Islande, car c'est là que s'est établi le premier parlement, l'*Althing*, et pour cette raison il est inscrit sur la Liste du patrimoine mondial (voir photo 4.6). L'île de Rum, Écosse (Catégorie IV) a été initialement achetée comme réserve de nature pour sa valeur unique en matière de géopatrimoine, mais c'est aussi une colonie de reproduction d'importance capitale pour le puffin des Anglais (*Puffinus puffinus*) et le cerf élaphe (*cervus elaphus*), dont elle abrite un troupeau important et très étudié. La Zona Volcànica de la Garrotxa, Espagne (Catégorie V) possède un paysage unique de volcans éteints, et joue un rôle important dans la conservation de paysages culturels traditionnels et de leur vie sauvage associée.

Certains des paysages naturels les plus précieux du monde sont dominés par des formations géologiques spectaculaires ou des phénomènes géomorphologiques, et beaucoup sont dans des aires protégées. Par ex., le Parc national Torres Del Paine, situé dans le sud du Chili, est spectaculaire. Ses 180 000 ha sont un exemple de paysage glaciaire qui expose un laccolite granitique blanc impressionnant, surmonté d'une roche sédimentaire métamorphosée. D'autres aires protégées ayant des caractéristiques géologiques impressionnantes, comme le Parc national d'Uluru– Kata Tjuta en Australie, le Parc national de Sagarmatha (mont Everest) au Népal, le Parc national de Tongariro en Nouvelle-Zélande et le Parc national de Los Glaciares en Argentine, sont inscrits sur la Liste du patrimoine mondial.

Du point de vue de la géoconservation, la prise en compte des six catégories de gestion d'aires protégées de l'UICN donne un aperçu de la façon dont un site particulier peut être géré au mieux pour maximiser son potentiel sans détruire la valeur pour laquelle il a été désigné. Dans les sites à valeur mixte, cela peut être une façon de rappeler aux gestionnaires l'ensemble des valeurs.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°14 : Évaluer la pertinence de chacune des catégories de gestion d'aires protégées de l'UICN pour créer de nouvelles aires protégées pour la géoconservation, ou améliorer la gestion des aires existantes pour la géoconservation.

5.4 Inclure les valeurs spirituelles et culturelles du géopatrimoine

Les valeurs culturelles et spirituelles, qui sont entremêlées dans de nombreuses cultures, sont significativement liées aux caractéristiques géologiques dans le monde entier (voir Verschuuren et al., (2021), pour plus de précisions). Fréquemment, dans l'histoire des humains, les valeurs dominantes attribuées à ce qui est actuellement considéré comme le géopatrimoine sont globalement culturelles et spirituelles. C'est également le cas avec les valeurs d'usage liés aux matériaux extraits, comme les roches, les minéraux ou les pierres précieuses.



Photo 5.11 Paysage spectaculaire, où l'action des glaciers expose des roches ignées et métamorphiques sous-jacentes. Parc national Torres del Paine, Chili. © Graeme L. Worboys



Photo 5.12 La montagne sacrée d'Uluru, en Australie centrale. © John Gordon



Photo 5.13 Représentation aborigène du paysage des montagnes enneigées, Nouvelle-Galles du Sud © Roger Crofts

Le symbolisme culturel et spirituel des roches et des pierres - comme les monolithes, mégalithes, et pierres de tonnerre - est extraordinairement riche et divers dans le monde entier. En outre, de nombreuses pierres précieuses et gemmes sont utilisés dans divers rites et cérémonies. Pour toutes ces raisons, de nombreuses caractéristiques géologiques ont été, et sont encore très souvent, extrêmement importantes dans les cultures du monde entier (Chevalier, 1969). La stabilité et la durabilité de la plupart des caractéristiques géologiques en font un symbole de ce qui se trouve au-delà des cycles courts de la nature ; et de ce qui est au-delà de l'expérience humaine du flux du temps, reflétant les siècles passés ou l'éternité. Dans de nombreuses cultures, les pierres sont également symboliquement reliées à la sagesse. La glace, sous ses formes variées, ajoute à ces significations le symbole de la pureté et de la rigueur.

Un caractère sacré ou saint, et un pouvoir spirituel, ont été attribués à de nombreuses montagnes, grottes, puits, rivières, roches et autres caractéristiques. En Finlande par ex., au moins 76 puits, 74 lacs, 38 montagnes, 36 baies, 22 péninsules, 18 étangs, 16 îles, 15 cours d'eau et 12 gorges sont soit composés du préfixe *pyhä* ou *hiisi* ou du génitif *hiiden* qui signifie « sacré », ou « saint » (Lounema, 2003).

Les paragraphes suivants donnent des exemples des attributs culturels et spirituels et des valeurs liés au géopatrimoine. Ils

sont issus du monde entier et de traditions spirituelles diverses. Plus de détails sont disponibles au Centre de documentation de Silene.

Les montagnes sacrées, abritant souvent une faune et une végétation limitées, se trouvent sur tous les continents habités (Bernbaum, 1997). Elles incluent la plupart des volcans les plus élevés et élégants (par ex. Mauna Kea, Hawaï'i, États-Unis ; Ol Doinyo Lengai/Sabuk, Tanzanie ; et Fuji-San, Japon). Le grand monolithe d'Uluru, Australie, est sacré pour le peuple aborigène. Le mont Kailas, Tibet, Chine, est révééré par les Bouddhistes, les Hindous et les Jaïns. La chaîne Sierra Nevada de Santa Marta, Colombie, est considérée comme le « cœur du monde » par ses gardiens traditionnels. Le Machapuchare, dans la chaîne d'Annapurna, Népal, dédiée à Shiva, n'a jamais pu être escaladé. Le Sri Pada (pic d'Adam), au Sri Lanka, reçoit des pèlerinages bouddhistes, hindous, chrétiens et musulmans. Le Jabal ar-Rahmah (mont Arafat), Arabie Saoudite, fait partie du Grand pèlerinage musulman (Hajj). Le Tur Sinâ/Jabal Mûsâ (mont Sinai), Égypte, est une montagne sacrée pour le judaïsme, la chrétienté, et l'islam, lié à la révélation faite au prophète Moïse. L'Agios Oros/mont Athos fait partie d'une république monastique chrétienne unique en Grèce. Ses pentes sont habitées par des ermites et des moines dévoués à la prière et à la contemplation.

De nombreuses grottes et phénomènes karstiques importants ont été utilisés comme sanctuaires naturels, préservant, parfois, des peintures et sculptures parmi les plus anciennes et les plus spectaculaires de l'humanité, comme à Pont d'Arc, France, (datées d'environ 30 000 AEC). La civilisation maya a utilisé de nombreuses grottes et puits pour ses rituels, comme celle d'Actun Tunichil Muknal (grotte du sépulcre de pierre), Bézile. Au Sri Lanka, les grottes Dambulla, un complexe de cinq sanctuaires bouddhistes construits dans des grottes, reçoivent des pèlerins depuis plus de deux millénaires.

Un très grand nombre d'ermites et de moines hindous, bouddhistes et chrétiens vivent dans des grottes pour gagner en sagesse, dans des endroits naturels isolés d'Asie, d'Afrique et d'Europe.

Les temples et sanctuaires troglodytes creusés dans des formations rocheuses sont une autre caractéristique impressionnante que l'on trouve dans le monde entier. Parmi les exemples de civilisations disparues, citons ceux des Nabatéens (par ex. à Pétra, Jordanie) ou des rois Achéménides (Naqsh-e Rostam, Iran). Des temples troglodytes impressionnants sont toujours utilisés (par ex. les églises monolithiques de Lalibela, Éthiopie). Creusé dans les collines du Xiangshan et Longmen Shan qui surplombent le fleuve Yi, Chine, se trouve un trésor merveilleux de sculptures bouddhistes comprenant plus de 2300 grottes et niches et 43 pagodes, les plus vieilles datant du 5^e siècle de notre ère, la même période que les grottes d'Elephanta sur l'île de Gharapuri, Inde.

Les roches aux morphologies spéciales sont considérées comme spirituellement ou culturellement importantes dans de nombreuses cultures et traditions. Citons comme exemples les grandes caractéristiques rocheuses, comme celles de la Monument Valley, Utah-Arizona, États-Unis ; les mesas (comme



Photo 5.14 Sanctuaire bouddhiste dans une grotte à Wat Tham Sri Wilai, Thaïlande. © John Gunn



Photo 5.15 Monastère Saint Archange Michel, Bulgarie. © Roger Crofts



Photo 5.16 Symboles de vie, y compris scènes de chasse et enclos de bétail, gravés dans un substrat rocheux sur le site du patrimoine mondial d'Alta, Finnmark, Norvège. © Roger Crofts



Photo 5.17 Les musiciens ont toujours été inspirés par des phénomènes naturels, comme la grotte de Fingal, Staff, Écosse, qui a inspiré Mendelssohn pour composer son *Ouverture : Les Hébrides*. © Roger Crofts

Encadré 5.2**Le géo-archéosite de la Nécropole étrusque de San Giuliano, Italie**

Les tombes étrusques creusées dans la roche dans la zone de Barbarano Romano, à 60 km au nord de Rome, sont un bon exemple de l'interrelation entre le géopatrimoine et l'héritage archéologique. Les couches de roches volcaniques relativement tendres étaient parfaites pour tracer des sentiers et creuser des tombes. Datant du 6^e siècle AEC, ces nombreuses nécropoles étrusques sont connues collectivement sous l'appellation de Nécropole de San Giuliano.

Le tombeau de Caiolo, et les tombeaux appelés Chariots et lits, sont parmi les premières caractéristiques trouvées lorsque l'on suit le sentier qui descend profondément dans la vallée, avant d'arriver au Tombeau de la reine, avec sa façade de dix mètres. Au-dessus d'un escalier latéral sur la Tombe du cerf, se trouve une sculpture singulière, dans le bas-relief, représentant un combat entre un cerf et un loup. Toutes les tombes et sentiers sont protégés en tant que Réserve naturelle de Marturanum par un organisme gouvernemental spécial pour la préservation et le soin du patrimoine archéologique de la région. L'objectif de cette gestion associe la protection du milieu naturel et la conservation des vestiges archéologiques. Les vestiges sont érodés par le ruissellement de l'eau et les racines des plantes. Toute intervention doit donc s'équilibrer entre la volonté de préservation du système global, et les éléments individuels. La composante archéologique rend le site plus accessible au public, améliorant la compréhension du

géosite comme bien culturel. La présence des géo-archéosites a également favorisé le développement du géotourisme.

Contributeur : Dario Mancinella

celles associées à certains Pueblos Amérindiens, Nouveau-Mexique, États-Unis) ; ou les falaises comme la falaise de Bandiagara, pays dogon, Mali. En Scandinavie du nord et en Russie, de nombreuses formations rocheuses et pierres d'offrande ont une longue histoire sacrée, et continuent à avoir du sens pour les peuples autochtones.

Les canyons et chutes d'eau ont toujours eu une importance spirituelle dans le monde entier. Les chutes d'Iguaçu, Brésil-Argentine ; les chutes sacrées du Gange, Inde ; les trois Gorges du fleuve Yangtze, Chine ; les chutes Angel dans le Parc national de Canaima, Amazonie vénézuélienne ; et les chutes Victoria, Zimbabwe, ne sont que quelques exemples spectaculaires.

Les pierres, gemmes et métaux précieux ou semi-précieux présentant de nombreuses associations spirituelles et/ou culturelles sont utilisés depuis les temps préhistoriques, surtout à des fins religieuses, médicales et magiques, dans des cultures très diverses. La thérapie ayurvédique aux gemmes est encore très utilisée en Inde. Pour toutes ces raisons, on retrouve la trace de transports sur des longues distances de pierres précieuses, verres volcaniques, or, argent, etc. dans le monde entier depuis les temps préhistoriques (Piccardi & Masse, 2007).

Dans de nombreuses écritures sacrées, qui influencent plus de 85% de l'humanité, certains éléments géologiques ont eu des rôles proéminents. La Bible et le Coran ont tous deux été écrits dans des écosystèmes arides ou désertiques, où les caractéristiques géologiques dominent le paysage. Il n'est donc pas surprenant que les symboles et métaphores géologiques soient si souvent utilisés. Dans la Bible, le mot « roche/rocher » est utilisé quelques 150 fois, étant plus souvent une référence à Dieu que n'importe quel autre mot (Wellman, 2015). « Dieu le rocher » apparaît dans les Psaumes, le Deutéronome et plusieurs livres prophétiques. Dans le Nouveau Testament, on a des références

au fait de « boire depuis un rocher spirituel », et « le rocher était le Christ » (1 Corinthiens 10:4). La Kaaba, le sanctuaire en forme de cube, attribuée au prophète Abraham/Ibrahim, est située au centre de la mosquée sacrée de la Mecque, la ville sainte de l'islam. Dans l'angle est de la Kaaba se trouve la fameuse Pierre noire, probablement une météorite, « tombée du Paradis » et vénérée par les pèlerins depuis des siècles. On dit que la révélation du Coran aurait commencé dans une petite grotte du mont An Nur, où Mohammed avait l'habitude de se retirer. La pureté attribuée aux pierres et sables propres dans la tradition islamique est attestée par le fait qu'ils peuvent être tous les deux utilisés pour les purifications rituelles lorsque l'eau vient à manquer.

Globalement, de nombreuses et diverses valeurs culturelles et spirituelles donnent une importance accrue à des caractéristiques géologiques, qu'il s'agisse de gemmes ou de pierres individuelles, ou de chaînes entières de montagnes, sur et sous Terre. Ces valeurs connectent la vie des cultures et communautés actuelles à la signification et au symbolisme des caractéristiques les plus permanentes de notre vie sur Terre, et à travers elles, aux générations présentes et futures. Les connections spirituelles et culturelles entre les communautés et cultures locales et leur patrimoine géologique revêt une signification profonde, qui ne doit pas être négligée par les conservationnistes.

Il existe de nombreux mécanismes de gestion pour garantir une protection adéquate des valeurs culturelles et spirituelles des sites. Citons par ex. l'utilisation d'observateurs de la communauté locale sur place, qui gardent le site et agissent comme interprètes de l'intérêt culturel et spirituel auprès des visiteurs, par ex. au Parc national de Gwaii Haanas avec son site du patrimoine mondial de S'Gang Gwaay, Colombie-britannique, Canada ; ou encore les restrictions d'accès pour préserver les valeurs spirituelles du site, comme à Uluru en Australie. Plus de détails dans Verschuuren et al. (2021).



Photo 5.18 Relier le géopatrimoine à la monnaie nationale peut renforcer la reconnaissance de la protection. Karst de Guilin, site du patrimoine mondial Karst de Chine du Sud. © Roger Crofts

Ligne directrice des meilleures pratiques n°15 : Inclure les valeurs culturelles et spirituelles dans les objectifs et la gestion des aires protégées de géoconservation et, lorsqu'approprié, inclure le géopatrimoine dans les aires protégées créées à des fins spirituelles et culturelles.

5.5 Suivre et évaluer les géosites

Le suivi des géosites ou des caractéristiques du géopatrimoine peut être réalisé pour divers usages, notamment pour :

- Évaluer et faire rapport sur la condition actuelle et les tendances à long terme des géosites ou des caractéristiques spécifiques, et des processus (voir Section 5.1) ;
- Évaluer l'efficacité de la gestion d'un site ou des caractéristiques et processus spécifiques du géopatrimoine ; et
- Fournir des informations de gestion sur la surveillance, la protection et la sécurité du site et des caractéristiques et processus spécifiques.

Les données de suivi et les informations d'évaluation ultérieures peuvent alors être utilisées par les gestionnaires pour :

- La reddition des comptes officielle par rapport au plan de gestion, et les rapports aux bailleurs et à la direction, ainsi qu'au public, dans des rapports annuels et autres documents ;
- Des rapports sur la sécurité et la gestion de l'accès ; et
- Une analyse de l'efficacité de la gestion ou des caractéristiques spécifiques du géosite.

De nombreux types « d'utilisation » de suivi ont été mis au point par les organismes en charge des aires protégées (Tableaux 5.5 et 5.6). Ils sont présentés ici comme considérations de suivi et

évaluations générales, avec des exemples spécifiques. Notez que de nombreuses caractéristiques et processus géologiques sont suivis par des organisations spécialisées, comme une organisation gouvernementale d'étude géophysique, ou une équipe de vulcanologues, qui ont des partenariats de travail avec les organismes en charge des aires protégées. Il est peu probable que les organismes en charge des aires protégées aient les ressources ou les capacités techniques pour réaliser ces opérations de suivi spécialisé eux-mêmes. Ils dépendent plutôt de l'apport volontaire d'experts provenant de sources accréditées. En outre, on a déjà beaucoup écrit sur le suivi et évaluation par rapport aux projets et initiatives de conservation de la nature, notamment les différentes finalités du suivi, sa relation avec la gestion adaptative, et les défis pour réaliser correctement des programmes de suivi réussis. Beaucoup de ce qui a été écrit à ce sujet est applicable au suivi des caractéristiques du géopatrimoine. Pour un résumé du suivi et évaluation lié à la conservation de la nature, voir le Chapitre 10 de Groves & Game (2016).

Les méthodes utilisées pour suivre les géosites et leurs caractéristiques et processus doivent être pensées et planifiées attentivement. Elles sont souvent soutenues par un plan de suivi qui identifie la finalité du suivi, les protocoles et procédures qui seront utilisées et comment l'information de suivi sera utilisée. Des indicateurs seront sélectionnés pour convenir à la collecte d'informations devant être utilisée par l'organisme (c.-à-d. une évaluation basée sur l'utilisation). L'erreur que font souvent les personnes chargées de l'évaluation est de commencer le processus en voulant choisir des indicateurs. La sélection des indicateurs se fait *après* que les décisions ont été finalisées sur quelles informations seront utilisées. Ce n'est qu'alors que les indicateurs sont sélectionnés pour convenir à l'information

nécessaire. Globalement, les indicateurs choisis doivent être SMART : Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes et limités dans le Temps. Une autre erreur consiste à préparer le plan de suivi bien après le début du projet. Au contraire, le plan de suivi doit faire partie intégrante de la planification initiale du projet.

Un soutien de la haute direction de l'organisme en charge de l'aire protégée est nécessaire pour assurer le succès d'un suivi efficace. Les considérations de soutien à la gouvernance pour les projets de suivi à petite et grande échelle incluent :

- Les organisations ont approuvé en totalité un plan de suivi et évaluation ;
- Un financement a été engagé ;
- Un personnel doté des bonnes compétences est employé pour gérer et réaliser le suivi ;
- Des systèmes sont mis en place pour utiliser les informations de suivi ;
- Le lancement et la formation sont en place pour le personnel responsable du système.

Cette approche souligne la relation fonctionnelle entre les responsabilités statutaires d'une organisation et le suivi,

comme la protection en cours du géosite et tous ses aspects importants, ainsi que la sécurité des visiteurs.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°16 : Élaborer des schémas de suivi afin d'évaluer les caractéristiques et processus naturels essentiels, et ajuster les plans en conséquence (dans un cadre de gestion adaptative) afin d'atteindre les objectifs de géoconservation.

5.6 Exemples de gestion de la géoconservation dans les aires protégées et conservées

Les Encadrés 5.3, 5.4 et 5.5 donnent des exemples de gestion de la géoconservation. Il y a de nombreux exemples publiés ailleurs ; voir les chapitres 19 à 24 de Reynard & Brilha (2018) pour des exemples en Éthiopie, au Brésil, en République de Corée, en Tasmanie (Australie), au Colorado (États-Unis) et en Espagne. Le magazine *Geoheritage*, publié par Springer et produit par ProGEO (Association européenne pour la conservation du patrimoine géologique) et l'IUGS (l'Union internationale des sciences géologiques) a publié des articles avec des études de cas du monde entier.

Tableau 5.5 Types de suivi et leur utilisation

Type d'utilisation du suivi	Informations de suivi recueillies	Évaluation et utilisation	Raisons
Contexte	Quelle est la condition du site ou du phénomène du géopatrimoine, et quelle est la tendance de sa condition ? Est-il menacé ?	Utilisée pour déterminer si une intervention de gestion est nécessaire pour protéger le géosite ou le phénomène présent.	Nécessaire pour tous les géosites et caractéristiques et processus spécifiques.
Planification	Identifie les objectifs et buts, et comment les atteindre.	Utilisée pour identifier attentivement et évaluer les objectifs stratégiques de gestion et les mesures associées nécessaires pour la protection du géosite ou phénomène présent.	L'évaluation de l'efficacité des objectifs de planification doit être une évaluation de gestion routinière, organisée tous les 5-10 ans.
Intrants	Les mesures de géoconservation ont besoin d'intrants en ressources qui incluent généralement les personnes, les fonds et le matériel.	Utilisée pour garantir que les investissements financiers et les ressources humaines corrects sont dirigés aux bons endroits et pour le bon matériel pour que la tâche soit réalisée dans un délai raisonnable, et efficace en termes de coût.	De telles évaluations garantissent que les bonnes ressources humaines et financières ont été attribuées afin de garantir le succès du suivi, et garantissent l'efficacité de l'attribution.
Processus	L'évaluation des systèmes de gestion et des procédures est une partie importante de la géoconservation.	Cela peut s'appliquer aux procédures de gestion d'urgence d'incidents, comme des éruptions volcaniques, des lahars et des tremblements de terre.	Le suivi du caractère approprié des procédures et systèmes de gestion des événements et incidents sur les géosites est une partie importante de la gestion.
Extrants	Au vu de la planification, de l'organisation des intrants et des processus, l'efficacité des extrants du géopatrimoine peut être évaluée.	Il est possible d'évaluer ce qui a été fait, quels produits et services ont été réalisés par rapport aux efforts et aux intrants engagés.	Le suivi des actions individuelles donne un important retour d'informations pour les gestionnaires, surtout lors de l'étape de réalisation des tâches. Cela donne une base pour la gestion adaptative.
Résultats	La mesure des résultats se fait généralement par rapport aux objectifs originaux de planification, mais elle doit également prendre en compte les évaluations globales montrant les progrès de la géoconservation grâce aux mesures prises par la gestion.	Les mesures des résultats peuvent être quantifiées et, en tant que telles, offrir des informations précieuses pour montrer la réussite des organismes. Ces informations peuvent également être utilisées par des audits indépendants sur l'efficacité de la gestion, requises par le gouvernement ou un conseil de gestion.	Les avancées de la conservation pour la gestion d'un site ou phénomène de géopatrimoine peuvent être identifiées et publiées dans le rapport annuel d'une organisation, ou utilisées pour d'autres exigences statutaires de soumission de rapports.

Tableau 5.6 Exemples de suivi, évaluation et rapports de géopatrimoine

Catégories	Informations de suivi	Utilisation	Exemples
Activité sismique	Fréquence et gravité de l'activité sismique	Utilisé pour : la recherche, déterminer l'accès ou la fermeture aux visiteurs, les réponses d'urgence.	Point Reyes National Seashore et Parc national des volcans d'Hawaï'i (États-Unis), Étude géologique des États-Unis
Éruptions volcaniques : roches volcaniques acides	Activité sismique, changement dans le comportement épiterral, contenu des émissions de gaz, relief ascendant ou descendant	Utilisé pour : la recherche, déterminer l'accès ou la fermeture aux visiteurs, les réponses d'urgence.	Parc national de Yellowstone (États-Unis), Étude géologique des États-Unis
Éruptions volcaniques : roches volcaniques basiques	Activité sismique, dynamique de la lave, activité éruptrice	Utilisé pour : la recherche, déterminer l'accès ou la fermeture aux visiteurs, les réponses d'urgence.	Parc national des volcans d'Hawaï'i (États-Unis), Étude géologique des États-Unis
Condition des glaciers	Informations de suivi de télédétection par satellite des caractéristiques et de la condition des glaciers	Utilisé pour : inventaire et recherche, impact du changement climatique et rapport de précaution des barrages glaciaires et potentiel d'effondrement	L'ICIMOD (Centre international pour le développement intégré de la montagne) réalise l'évaluation de l'ensemble de l'Himalaya, y compris pour de nombreuses aires protégées
Tsunami : réalisé par des organisations spécialisées, mais liées à des organismes d'aires protégées	Grave tremblement de terre dans un milieu marin	Utilisé pour : la sécurité des visiteurs et les mesures de réponse d'urgence	Parcs côtiers d'Hawaï'i (États-Unis) soumis à des tsunamis fréquents
Émissions de gaz volcaniques	Contenu et concentrations des gaz	Utilisé pour : la recherche, déterminer l'accès ou la fermeture aux visiteurs.	Parc national des volcans d'Hawaï'i (États-Unis), Étude géologique des États-Unis
Définition du lahar	Suivi des événements post-éruption et lahars actifs	Utilisé pour : évacuation d'urgence et mesures de fermeture des routes	Parc national de Tongariro (Nouvelle-Zélande)
Stabilité des pentes	Suivi des pentes instables, y compris falaises et fissures dans les formations rocheuses	Utilisé pour : la sécurité des visiteurs et les actions de fermeture des parcs	Les sites du patrimoine mondial des Dolomites (Alpes européennes) surveillent la sécurité des grimpeurs, dans un environnement de changement climatique où les températures plus élevées affectent les fronts de falaises
Stabilité du toit de la grotte	Suivi de la stabilité du toit de la grotte	Utilisé pour : la sécurité des visiteurs et les actions de fermeture de la grotte	Le tube de lave de la grotte de Manjanggul (République de Corée). Les chutes de roches étaient surveillées grâce à un équipement de haute résolution ou une plaque de verre
Spéléothèmes de grottes	Identification de tout changement dans les spéléothèmes, à partir d'un niveau de référence connu	Utilisé pour : la recherche et la protection contre le vandalisme	Grotte de Baegnyong (République de Corée), où le suivi photographique avant/après a permis d'identifier les changements
Atmosphère de la grotte	Suivi du niveau de dioxyde de carbone dans une grotte fréquentée par des visiteurs	Utilisé pour : la sécurité des visiteurs, surtout dans les grottes de démonstration	L'aire protégée de la grotte aux vers luisants de Waitomo (île du Nord, Nouvelle-Zélande) utilise un système continu automatique de suivi de la qualité de l'air.
Radioactivité de la grotte	Suivi du niveau du gaz radon radioactif dans les grottes	Utilisé pour la sécurité des travailleurs au sein de la grotte, surtout les guides	Parc national des grottes de Carlsbad (États-Unis)
Site du patrimoine mondial de Mistaken Point - lits fossilifères sur des falaises côtières	Suivi Lidar (satellite) de la condition, et de la tendance de la condition des lits fossilifères côtiers	Réalisé tous les 10 ans pour suivre l'érosion à long terme du site	Site du patrimoine mondial de Mistaken Point (Newfoundland et Labrador, Canada)
Mistaken Point - érosion des lits fossilifères due au passage de piétons	Photographie sur point fixe et position fixe afin d'évaluer l'érosion due au passage des piétons	Réalisé tous les deux mois et après les grosses tempêtes	Site du patrimoine mondial de Mistaken Point (Newfoundland et Labrador, Canada)
Condition de la Grande barrière de corail, et tendance de la condition	Suivi de la condition physique de la Grande barrière de corail	Réalisé après de gros événements comme les cyclones tropicaux et le blanchiment dû à une chaleur extrême, par les universités et organisations de recherche. Fournit un rapport public sur la condition de la barrière	Parc national de la Grande barrière de corail, Queensland, Australie

Encadré 5.3**Géoconservation et stratégies de gestion : Les composantes du succès, à partir de deux Géoparcs mondiaux de l'UNESCO en Espagne**

L'analyse de la géoconservation et des stratégies de gestion de deux Géoparcs mondiaux de l'UNESCO espagnols, Las Loras et Molina de Aragón-Alto Tajo, met en évidence six composantes cruciales pour le succès de tout géoparc. Premièrement, il convient de mettre en place une base de données avec toutes les actions et activités organisées dans le géoparc, par les gestionnaires et les partenaires. Deuxièmement, la présence d'experts de la géoconservation au sein du personnel du géoparc permet d'accroître la visibilité du géopatrimoine et de mieux informer le personnel. Troisièmement, la création et la mise en œuvre d'un plan d'action de la géoconservation offre une nouvelle base pour la planification de la gestion et l'action. Quatrièmement, l'existence d'une équipe multidisciplinaire crée une nouvelle dynamique. Cinquièmement, la gestion et les plans stratégiques couvrant les principales activités des géoparcs - l'éducation, le tourisme, la communication et le développement durable - sont réalisés. Sixièmement, la promotion de la gestion participative avec les parties prenantes et la population locale offre un outil pour le développement sur l'ensemble du territoire.

Pour plus d'informations, voir Canesin et al. (2020).

Contributeurs : Thais de Siqueira Canesin, José Brilha, Enrique Díaz-Martínez.

Encadré 5.4**Travail de protection dans les paysages volcaniques**

Les volcans actifs sont des caractéristiques géologiques et géomorphologiques spectaculaires. Ils sont pour la plupart situés dans des aires protégées, et certains ont été inscrits sur la Liste du patrimoine mondial, comme le Parc national des volcans d'Hawaï'i (États-Unis). Les gestionnaires d'aires protégées en charge des phénomènes volcaniques apprécient la distinction entre l'activité volcanique acide et basique, et sont conscients des risques que présentent les volcans aux roches hautement volatiles et dangereusement acides des laves rhyolite, trachyte et andesite, qui peuvent inclure des événements pyroclastiques de nuées ardentes. Ces nuages se déplaçant rapidement sur les pentes, composés de fins fragments surchauffés de matières volcaniques, ont recouvert l'ancienne ville de Pompéi et ont tué la plupart de ses habitants. Les gestionnaires d'aires protégées volcaniques surveillent constamment le milieu volcanique dynamique, pour la sécurité des visiteurs (Tableau 5.7).

Tableau 5.7 Sécurité des visiteurs dans les paysages volcaniques.

Éruptions	Les volcans en éruption fascinent et sont source d'inspiration, et peuvent être une importante attraction touristique. Les volcans avec des laves basiques, comme le volcan Kilauea à Hawaï'i (États-Unis), sont relativement sûrs et peuvent être en éruption régulière au milieu d'éruptions plus vigoureuses. Les volcans actifs avec des laves plus visqueuses et riches en silice sont très dangereux, et les visiteurs ne sont normalement pas autorisés à s'en approcher. Des fermetures d'aires protégées ont lieu lorsque les conditions de sécurité sont potentiellement ou réellement non-garanties. En général, il y a un partenariat de travail étroit entre les vulcanologues et les gestionnaires d'aires protégées.
Lahars	L'association de matière volcanique éruptive et d'eau sur le sommet d'un volcan est très dangereuse et peut mener à un mouvement rapide de glissement de terrain de cette matière boueuse, qu'on appelle lahar. Dans le parc national de Tongariro (Nouvelle-Zélande), les lahars proviennent à l'origine d'un lac de cratère du mont Ruapehu. Le volcan est suivi, et des systèmes d'avertissement de sécurité ont été mis en place en aval, là où le public pourrait être impacté.
Tremblements de terre	Des tremblements de terre d'intensité variable sont typiquement associés aux éruptions. Cela peut signifier la fermeture de certains lieux de l'aire protégée, comme les routes d'accès ou les pentes raides devenues dangereuses du fait de roches déstabilisées, de mouvements de terrain et de routes effondrées ou fracturées.
Explosions	Des explosions imprévisibles lors des éruptions volcaniques peuvent avoir lieu au début de l'éruption, ou même lors d'interaction entre l'eau souterraine et le magma chaud. C'est pour cela que de nombreuses aires protégées sont fermées lors des éruptions. Les responsables des aires protégées doivent travailler étroitement avec les vulcanologues pour garantir la sécurité du public et du personnel.
Gaz	Le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le méthane et de nombreux autres gaz peuvent être présents sur des sites volcaniques, qu'ils soient en éruption ou non. La concentration et l'étendue de ces gaz est une question de sécurité pour les visiteurs, et les aires peuvent donc avoir besoin d'être suivies, et des fermetures doivent être envisagées si nécessaire.
Navigation	Les cairns (amas de pierres) sont utilisés pour aider les visiteurs à se repérer sur les sentiers de randonnée dans le Parc national des volcans d'Hawaï'i, car le brouillard de montagne épais, fréquent, ainsi que les champs magnétiques associés à la lave de basalte récente et à la lave fondue souterraine, rendent l'utilisation du compas inutile. L'organisme du parc fournit de bonnes cartes, les chemins de randonnée sont balisés, et les visiteurs sont informés des problèmes de navigation.
Signalétiques et rampes et barrières de sécurité	Les gestionnaires doivent prendre en compte la nature corrosive de l'association des gaz volcaniques comme le dioxyde de soufre et de la pluie lorsqu'ils installent des signalétiques et des rampes et barrières de sécurité. La sélection des matériaux est très importante, car de nombreux métaux ont une durée de vie courte dans ces conditions extrêmes, et des barrières de sécurité réalisées avec les mauvais matériaux peuvent se transformer en danger avec le temps.

Encadré 5.5

Réserve de conservation du karst de Jenolan, Nouvelle-Galles du Sud, Australie

La Réserve de conservation du karst de Jenolan, à l'est de la Cordillère australienne, est une aire protégée, un sanctuaire de vie sauvage et un lieu touristique de 3085 ha. Elle comprend un vaste réseau de grottes en calcaire silurien, que visitent plus de 200 000 personnes tous les ans.

Elle est gérée conjointement par le Fonds de la réserve des grottes de Jenolan et le Service de la vie sauvage et des Parcs nationaux de Nouvelle-Galles du Sud (NPWS). Elle fait partie de la zone de patrimoine mondial de la Grande chaîne des montagnes bleues, présente sur la Liste pour la diversité et le caractère unique des invertébrés habitant dans les grottes (et spécifiques à la réserve). Enfin, elle abrite les deux plus grandes grottes touristiques d'Australie, et offre un habitat essentiel pour des espèces rares, menacées et reliques, et une faune troglobitique/stygobitique unique ou endémique.

Problèmes de conservation

Deux caractéristiques revêtent une importance critique : tout d'abord, les invertébrés habitant dans les grottes ont une valeur spéciale en matière de conservation, et incluent la faune troglobitique et stygobitique complètement dépendante du milieu de la grotte, et adaptée à ses conditions. Des changements délétères dans l'environnement de la grotte peuvent donc potentiellement avoir un impact important sur cette faune. Deuxièmement, la vallée de McKeowns (vallée de la rivière Jenolan) est un exemple significatif à l'échelle mondiale de l'excavation de vallées par du karst par des rivières de surface.

Les menaces à la géodiversité et à la biodiversité incluent la pollution potentielle qui pourrait affecter le karst et les eaux souterraines, les incendies, les altérations hydrologiques, les pressions liées au développement et les risques liés au changement climatique. Les menaces spécifiques aux grottes incluent la lumière artificielle, les changements dans la température et l'humidité, le bruit, la datation, l'interférence du public et, pour les chauves-souris, l'introduction potentielle du syndrome du nez blanc. Les infrastructures vieillissantes, l'accumulation de vase et de gravier dans le lac Bleu construit par l'homme, la maintenance des installations de traitement d'eau et de traitement des eaux usées, posent de nombreux problèmes.



Objectifs de la gestion et innovations

Le plan de gestion actuel (Bureau de l'environnement et du patrimoine de Nouvelle-Galles du Sud, 2019) a profité des informations fournies par de nouvelles études. Associé à de nouvelles ressources, cela a permis de résoudre de nombreuses menaces. Pour gérer les menaces spécifiques aux grottes, les systèmes d'éclairage ont été améliorés pour minimiser l'impact de la lumière et des températures ; des meilleures pratiques sont suivies pour l'infrastructure de la grotte (par ex. installation de rails en acier inoxydable non-ferreux) ; les permis d'accès aux grottes sont strictement surveillés (l'accès aux grottes se fait par site et par date, avec des permis délivrés par le NPWS et uniquement pour les organisations de spéléologie accréditées) ; et des plans ont été mis au point pour empêcher l'introduction du syndrome du nez blanc sur les sites importants de chauves-souris et de wallaby.

Contributeur : Anne M. Musser

Gérer les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées et conservées

6



**Mouth of the Elwha 2011
(Pre-Dam Removal)**



**Mouth of the Elwha 2014
(Post-Dam Removal)**

Removal of a dam on the Elwha River, Olympic National Park, Washington, USA, has allowed the river to return to its natural state with the formation of sedimentary features and reinstatement of natural processes. © US National Park Service

Cette section est axée sur les menaces au géopatrimoine dans les aires protégées et conservées, et comment y faire face. Les sujets suivants sont abordés :

- Concepts de sensibilité et de vulnérabilité (6.1)
- Principales menaces (6.2)
- Orientations pour évaluer les risques et impacts (6.3)
- Lignes directrices générales sur la gestion des sites pour faire face aux menaces, issues de neuf sources particulières (6.4)
- Interaction entre la conservation de la géodiversité et celle de la biodiversité (6.5)

De nombreuses activités ont un impact sur la surface de la Terre. Hooke (1994) a utilisé les données sur le transport des sédiments naturel et anthropique, et en a conclu que « les humains sont des agents géomorphiques. Ils déplacent des quantités importantes de sols et de roches, et ont un impact visible majeur sur le paysage (...) Les humains sont sans nul doute l'agent géomorphique le plus important façonnant actuellement la surface de la Terre ». Dans cette section, les principales menaces d'origine humaine aux caractéristiques et processus du géopatrimoine sont décrites, et des conseils sont donnés sur la façon dont y faire face. L'analyse des menaces est un élément essentiel du processus de planification de la gestion décrit dans la Section 5.

6.1 Concepts de sensibilité et de vulnérabilité

Une fausse idée très répandue sur le monde naturel est de croire que les plantes et les animaux peuvent être menacés et soumis à de nombreuses menaces, tandis que les roches et les reliefs seraient solides, abondants et donc n'auraient pas besoin d'être protégés. C'est cependant loin d'être le cas. Il y a de nombreuses caractéristiques physiques hautement fragiles et sensibles aux perturbations humaines, comme le montre par exemple la facilité avec laquelle les stalactites que l'on trouve dans les grottes peuvent être détruites, intentionnellement ou accidentellement, par les géotouristes dans les grottes de démonstration. Deux concepts sont ici importants : la *sensibilité* et la *vulnérabilité*. La *sensibilité* fait référence à la susceptibilité d'une caractéristique aux dommages, et le degré avec lequel elle est affectée ou répondra. La *vulnérabilité* fait référence à la

probabilité de dommages du fait d'une intervention humaine réelle ou potentielle. Certains sites sont très sensibles et pourtant non-vulnérables, du fait de leur localisation isolée, ou de leur protection physique.

L'évaluation de la sensibilité des caractéristiques reliques (c.-à-d. celles issues de processus du passé qui sont aujourd'hui terminés) est relativement simple, et basée sur une évaluation de l'échelle probable de l'impact et de la perte de la caractéristique d'intérêt (Tableau 6.1). Pour les systèmes géomorphologiques actifs, les facteurs supplémentaires à prendre en compte sont la résilience du système et sa réponse dynamique potentielle, notamment le réajustement prolongé (qui peut mener à la reconstitution ou non) ; ou le changement d'état (par ex. une rivière, passant d'anastomosée à sinueuse) (Kirkbride & Gordon, 2010).

Le Tableau 6.1 montre l'échelle de géosensibilité tasmanienne de 10 points, où 1 signifie « très sensible » et 10 « très solide ». Les activités provoquant des dommages importants aux sites sensibles peuvent avoir très peu d'impact sur des sites plus solides. Certains systèmes sont capables de se réparer tout seuls (par ex. empreintes sur une plage effacées par la prochaine marée haute), alors que d'autres changements sont irréversibles car les processus qui les ont créés n'opèrent plus dans cette zone (par ex. reliefs glaciaires dans les zones où les glaciers n'existent plus). Globalement, les sites qui sont à la fois sensibles et vulnérables aux perturbations humaines sont ceux qui ont le plus besoin de gestion et de protection.

Tableau 6.1 Échelle de géosensibilité tasmanienne de 10 points (modifiée, d'après Kiernan, 1996 ; Sharples, 2002).

1.	Valeurs sensibles aux dommages accidentels simplement par un passage pour les piétons diffus, en plein air, même si fait soigneusement (par ex. surfaces fragiles qui peuvent être écrasées par le piétinement).
2.	Valeurs sensibles aux effets d'un accès piéton plus concentré (par ex. érosion liée à un sentier).
3.	Valeurs sensibles aux dommages par la collecte scientifique ou amateur, ou le vandalisme délibéré, ou le vol (par ex. certaines collectes de fossiles ou minéraux).
4.	Valeurs sensibles aux dommages par des processus éloignés (par ex. changements hydrologiques en amont).
5.	Valeurs sensibles aux dommages par des impacts linéaires de plus haute intensité (par ex. pistes de véhicules).
6.	Valeurs sensibles à une plus haute intensité, mais perturbations légères sur le site (par ex. érosion du sol du fait d'une mauvaise gestion des terres).
7.	Valeurs sensibles à une excavation superficielle délibérée linéaire ou généralisée (par ex. suppression de souches d'arbres, construction de petites protections).
8.	Valeurs sensibles à une suppression ou à un ajout important de géomatériaux (par ex. carrière).
9.	Valeurs sensibles uniquement à un changement de contour à très grande échelle (par ex. réservoirs ou plans importants de canalisation de cours d'eau).
10.	Valeurs sensibles uniquement aux événements catastrophiques (par ex. importants glissements de terrain ou tsunamis).

Tableau 6.2 Principales menaces anthropiques au géopatrimoine dans les aires protégées (adapté de Gordon & Barron, 2011 ; Brooks, 2013 ; Gray, 2013 ; Crofts & Gordon, 2015).

Menaces	Exemples d'impacts sur le géopatrimoine dans les aires protégées
Urbanisation, construction (y compris développement commercial et industriel dans les terres et sur la côte), installations d'infrastructures et d'énergies renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> ■ Destruction de reliefs et expositions de sédiments et roches ■ Fragmentation de l'intégrité du site et perte de la relation entre les caractéristiques ■ Perturbation des processus géomorphologiques ■ Destruction des sols et de la structure des sols ■ Changements dans les sols et les régimes hydriques
Extraction minière et de minéraux (y compris extraction de mines à ciel ouvert, puits, carrières, dunes et plages, lits de rivières, extraction agrégée marine et exploitation minière en eau profonde)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Destruction de reliefs et expositions des sédiments et roches ■ Fragmentation de l'intégrité du site et perte de la relation entre les caractéristiques ■ Perturbation des processus géomorphologiques ■ Destruction des sols et de la structure des sols ■ Changements dans les régimes des sols et hydriques
Changements dans l'utilisation et la gestion des terres (y compris l'agriculture et la foresterie)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dommages sur les reliefs à cause du labourage, du nivelage du sol et du drainage ■ Perte du relief, de la visibilité des affleurements et de l'accès aux expositions ■ Stabilisation des reliefs dynamiques (par ex. dunes de sable) ■ Érosion du sol ■ Changements dans la chimie du sol et les régimes hydriques ■ Compactage du sol et perte de matière organique
Protection côtière et gestion et ingénierie des cours d'eau (y compris barrage et prélèvement d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dommages aux reliefs et expositions des sédiments et roches ■ Perte de l'accès aux expositions ■ Perturbation des processus géomorphologiques ■ L'inhibition de l'érosion permet aux expositions de se dégrader
Activités offshore (y compris dragage, chalutage, développements d'énergie renouvelable, exploitation des hydrocarbures et rejet de déchets)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dommages physiques aux reliefs et sédiments des lits sous-marins ■ Perturbation des processus géomorphologiques près du rivage et offshore
Activités récréatives et géotourisme	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dommages physiques aux reliefs, affleurements rocheux, processus et sols (compactage) du fait de la pression des visiteurs ■ Fragmentation de l'intégrité du site ■ Érosion des sentiers et autre érosion du sol localisée, et perte de la matière organique du sol
Changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> ■ Changements dans les processus de systèmes actifs ■ Changements dans l'état du système (stabilisation, ou déplacement vers un état actif) ■ Perte de caractéristiques, comme les culottes glaciaires, les glaciers et les processus périglaciaires
Augmentation du niveau de la mer (causes anthropiques)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perte de visibilité et d'accès aux expositions côtières et affleurements du fait de la submersion ■ Perte d'expositions du fait de l'érosion accrue ■ Changements dans les reliefs côtiers ■ Perte de tout ou partie d'aires protégées ■ Développement de nouvelles caractéristiques (par ex. issues d'ondes de tempêtes)
Restauration de puits et carrières (y compris enfouissement)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perte d'expositions et de reliefs naturels
Stabilisation de façades rocheuses (par ex. traçage de routes) avec des filets et du ciment	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perte d'expositions
Collecte irresponsable de fossiles, de minéraux et carottage de roches	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dommages physiques aux expositions rocheuses et enregistrement de la perte des fossiles et contexte

De nombreux processus naturels opèrent sur la surface terrestre, et érodent, transportent et déposent des sédiments. Ces processus physiques naturels auront souvent besoin de protection, car la géoconservation ne porte pas seulement sur la protection de sites statiques : elle cherche aussi à faire de la place pour que les processus dynamiques continuent à opérer dans leur gamme naturelle de variabilité. Cependant, les activités humaines (par ex. le défrichement) peuvent avoir un impact sur les taux de ces processus, et donc augmenter les taux d'écoulement dans les rivières et l'érosion du sol. Dans ces cas, la géoconservation doit chercher à faire revenir les processus dans leur gamme naturelle de variation, par une gestion durable des terres et de l'eau (Section 6.3).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°17 : Utiliser les concepts de *sensibilité* et de *vulnérabilité* pour orienter les évaluations des menaces et leurs impacts potentiels sur les caractéristiques et processus du géopatrimoine.

6.2 Principales menaces

Les processus naturels peuvent entraîner une perte de la géodiversité (par ex. érosion côtière menant à l'effondrement d'un stack ou d'une arche naturelle maritime). Cela doit être accepté dans le cadre de l'évolution naturelle du paysage - l'opération continue des processus créera de nouveaux stacks ou arches. Les gestionnaires doivent être préoccupés par les impacts anthropiques qui peuvent aboutir à l'un ou plusieurs des impacts généraux suivants :

- Destruction complète d'un géosite ;
- Perte partielle ou dommages physiques à un géosite ;
- Fragmentation de la caractéristique d'intérêt ;
- Perte de la visibilité (par ex. par la croissance de végétation) ;
- Perte de l'accès ;
- Interruption de processus naturels et impacts hors du site ;
- Pollution ;
- Perte du caractère naturel ; et
- Impacts visuels (par ex. graffiti).

Le Tableau 6.2 dresse une liste des menaces spécifiques, avec des exemples des impacts sur le géopatrimoine dans les aires protégées. Le reste de ce chapitre expose les menaces, pressions et impacts, et propose des approches de gestion recommandées, ainsi que des sources de conseils pratiques. Pour plus de précisions, voir Gray (2013).

6.3 Gérer les menaces : Évaluer les risques et impacts

Les sites et caractéristiques auront des degrés divers de sensibilité aux différents types d'activité humaine. Déterminer l'impact probable et les options pour répondre aux menaces potentielles est une composante importante de la gestion d'un site. Les évaluations de risques, et la priorisation des actions de gestion, devront être réalisées afin de déterminer la probabilité et les effets potentiels des différents types d'activités humaines et de changements naturels. Ici, les principes et la méthodologie de l'évaluation environnementale stratégique et de l'analyse d'impact environnemental doivent être appliqués.

Remarquez que, dans le cas des systèmes dynamiques, les activités hors de l'aire protégée peuvent avoir un impact.

6.4 Gérer les menaces : Conseils de bonnes pratiques sur les principaux sujets

Les effets de menaces spécifiques sur les géosites sont exposés ci-dessous, avec des conseils sur les principes et approches de la gestion. Pour des conseils pratiques et des exemples concrets, voir Prosser et al. (2006), qui donne des orientations significatives sur la gestion des sites, à partir des objectifs de conservation pour les trois principales catégories de géosites : d'exposition/extensifs, d'intégrité et finis (Section 5.2 et Tableau 5.1). Des exemples de l'application de ces conseils aux aires protégées pour les grottes et les karsts, les zones glaciaires et périglaciaires (c.-à-d. celles formées par les processus de refroidissement/dégel), les zones d'intérêt paléontologique et minéral, et les zones volcaniques, sont donnés dans la Section 7. Dans le texte ci-dessous, il est également fait référence à d'autres sources de conseils, lorsqu'elles existent (par ex. pour la gestion des cours d'eau et des côtes). En outre, plusieurs études de cas sont incluses (Encadrés 6.1 - 6.7 ; voir aussi Encadré 4.5). Il convient de toujours prendre en compte les solutions fondées sur la nature (c.-à-d. celles cherchant à imiter la nature ou à la restaurer lorsqu'approprié et possible). L'UICN a publié la première édition d'une Norme mondiale pour les solutions fondées sur la nature (UICN, 2020).

Extraction de minéraux et restauration de carrières

Les anciennes mines au sein d'aires protégées peuvent poser des problèmes environnementaux et de sécurité. Souvent, les axes verticaux et les entrées de mines sont laissés exposés, alors que ces caractéristiques historiques dangereuses ont besoin d'une barrière de sécurité ou de capuchons de sécurité pour protéger les visiteurs de tout accident. De nombreuses mines ont exploité des gisements de minéraux sulfurés (plomb, cuivre et zinc), et les eaux souterraines s'écoulant de ces anciens sites sont souvent acides et toxiques pour la vie des cours d'eau et la vie animale. Les sulfures riches en arsenic sont particulièrement problématiques du fait de leur toxicité. Les organismes en charge des aires protégées peuvent s'associer à d'autres organisations, comme un département des Mines ou un organisme de protection de l'environnement, pour le nettoyage de ce type de pollution toxique de l'eau. Les anciennes décharges minières, riches en sulfures, posent un problème de pollution liée au ruissellement similaire.

Les minéraux sont indispensables à la société moderne, et leur extraction entraîne souvent des expositions importantes de strates rocheuses. Cela ne pose que peu de problème lorsque les matières sont extraites sur de grandes superficies, ou lorsque l'impact de la carrière sur le relief est limité. Les situations les plus graves ont lieu lorsque des sols rares, des reliefs importants, ou des sites fossilifères d'une étendue limitée sont détruits par les carrières en surface. Malheureusement, les excavations illégales ou incontrôlées dans certaines régions du monde laissent des paysages dévastés et non-restaurés.



Photo 6.1 Les carrières offrent de nouvelles expositions aux géologues pour leurs recherches, notamment les roches rares de la croûte océanique, comme on le voit dans le Parc national de Troodos, Chypre turque. Les débris peuvent être dangereux, et l'accès au Parc doit être géré. © Roger Crofts



Photo 6.2 Un exemple démontrant qu'une carrière approuvée avant qu'un site ne reçoive le statut d'aire protégée peut être stoppée ou son extension refusée si l'intérêt du géopatrimoine est suffisamment important : Carrière d'Eldon Hill, dans le Parc national de Peak District et le site d'intérêt scientifique spécial de Castleton, Angleterre. Après la fermeture de la carrière en 1999, l'accès a été autorisé pour les spéléologues, qui ont découvert d'importants spéléothèmes et dépôts sédimentaux (voir en bas, personne à l'entrée de la grotte). © John Gunn

Encadré 6.1

Site d'intérêt scientifique spécial de la carrière et réserve de nature nationale de Horn Park, Royaume-Uni

L'exemple de la carrière de Horn Park, une carrière abandonnée près de Beaminster, Dorset, Royaume-Uni, prouve qu'il est possible de garder l'intérêt de conservation des visiteurs et des scientifiques après la fin de vie de la carrière, et après l'approbation d'une nouvelle utilisation de la carrière.

Le site d'intérêt scientifique spécial de la carrière et réserve de nature nationale de Horn Park est l'une des localités fossilifères les plus connues et les plus richement dotées en ce qui concerne la formation d'oolithes inférieures du Jurassique moyen du sud-ouest de l'Angleterre, particulièrement remarquable pour son lit métallique unique et sa faune invertébrée fossilisée bien préservée, en particulier les ammonites.

Problèmes de conservation et mesures prises



Un couvercle en grillage sécurisé protège les lits fossilifères exposés © Jonathan Larwood

La carrière de Horn Park présente deux problèmes importants en matière de conservation (Larwood & Chandler, 2016). Tout d'abord, le calcaire ayant été largement exploité, la ressource fossile restante est finie et particulièrement vulnérable à la collecte excessive et illégale. Deuxièmement, la création d'un parc commercial a exigé une planification attentive et sensible afin de préserver les expositions représentatives et accessibles, ce qui a été fait grâce à une stratigraphie pertinente.

Suite à une étude détaillée, les principales façades de la carrière supérieure ont été réexposées et étagées, permettant ainsi de préserver une séquence stratigraphique complète. Cette zone a été clôturée afin d'en restreindre l'accès, ce qui a permis de protéger la ressource fossilisée, et de démarquer la zone la plus sensible du site pendant la construction des unités industrielles. L'accès au site se fait uniquement par un permis à demander au préalable.

Grâce au travail de volontaires et du Fonds de la côte Jurassique (Jurassic Coast Trust), la partie inférieure de la séquence a été étendue et la partie supérieure, y compris les fossiles, réexposée. Une boîte sécurisée (avec un couvercle en grillage soudé) a été placée sur cette zone. Cela permet aux visiteurs de voir en détail la diversité de la faune fossile, sans la perturber ou sans perdre de fossiles. Le matériel en surplus issu des fouilles sur le site et des travaux de nettoyage a été laissé sur le site, pour que les visiteurs puissent les collecter. De même, des spécimens ont été donnés au musée voisin de Beaminster, et ont été inclus dans une exposition géologique et des boîtes éducatives sur les fossiles, afin de travailler avec les écoles locales.

En plus des impacts directs sur le géopatrimoine et le paysage, les autres effets possibles des carrières incluent : la production de déchets/terris, la pollution par des résidus miniers, le drainage minier acide ou la défaillance de digues où les déchets sont stockés, le bruit, la vibration ou la circulation/accès, les impacts des routes et les impacts visuels des usines et machines.

Dans la plupart des pays, l'exploitation minière est interdite dans les aires protégées. Cela inclut toutes les formes d'exploitation minière, comme le dragage et les études géologiques. Cette interdiction s'étend jusqu'au centre de la Terre pour les aires protégées légiférées de cette façon, ou alors il peut y avoir des restrictions de profondeur. Certaines aires protégées, notamment les zones de captage d'eau au-dessus des veines de charbon légèrement immergées près de Sydney, Australie, étaient restreintes en profondeur lors de leur proclamation, ce qui signifie que le charbon pouvait être exploité en profondeur.

Le personnel de l'aire protégée s'occupe des problèmes de gestion en surface, comme les courants qui disparaissent et

les fuites de gaz méthane - des problèmes qui exigeaient une réponse gouvernementale.

La collaboration entre l'UICN et le Conseil international des mines et métaux a permis de publier des codes de pratiques (CIMM, 2003). Le principal engagement est de : « Respecter les aires protégées légalement désignées et veiller à ce que toute nouvelle opération ou tout changement aux opérations existantes ne soit pas incompatible avec la valeur pour laquelle elles ont été désignées. » L'UICN considère qu'aucune activité minière ne doit avoir lieu dans une aire protégée (UICN, 2016b).

La mine de Los Frailes à Aznalcóllar, près de Séville, Espagne, est un exemple de préoccupation sur des opérations minières dans ou à proximité d'une aire protégée. En 1998, une digue de retenue des résidus a rompu, et 5 millions de m3 de boue toxique se sont déversés dans le fleuve Guadiamar, évitant de peu l'importante zone humide du Parc national de Doñana, classé site du patrimoine mondial. Une opération de nettoyage de 240 millions d'euros a été nécessaire. La mine a ensuite fermé, puis a été autorisée à réouvrir en 2015, mais la

construction d'une nouvelle digue de retenue des résidus a été interdite.

Certaines aires protégées souffrent d'exploitation minière illégale comme l'orpaillage. Dans le parc national Corcovado, Costa Rica, un orpaillage artisanal de grande ampleur qui avait lieu au bord du fleuve a poussé les autorités à agir. En général, de telles mesures exigent l'intervention de la police. Lorsque les gestionnaires d'aires protégées comprennent précisément le géopatrimoine de leur aire, on peut potentiellement anticiper les activités illégales et mettre en place des mesures protectrices en avance. L'exploitation minière illégale, lorsqu'elle est arrêtée, requiert également des mesures de nettoyage et de restauration qui peuvent bénéficier d'une expertise géologique et de restauration.

Dans le Parc national de Kakadu, Australie, l'exploitation minière d'uranium a commencé en 1980. Lorsque le parc national a été créé l'année suivante, les mines de Ranger et de Jabiluka ont été exclues du Parc, mais elles sont totalement entourées par celui-ci. Ici, les préoccupations portent sur le déversement depuis 2009 de 100 000 litres d'eaux polluées chaque jour, issues d'une digue de retenue de résidus de la mine dans les fissures rocheuses situées sous la mine de Ranger.

Les conditions de planification requièrent normalement une restauration et un aménagement paysager, et incluent souvent un enfouissement, ce qui entraîne une perte des expositions géologiques. Un dialogue précoce entre les parties prenantes (par ex. opérateurs de la carrière, autorités locales, organismes universitaires et de géoconservation) est essentiel pour garantir

que, lorsque possible, les intérêts du géopatrimoine sont inclus dans les plans de restauration grâce à l'établissement de lieux où les caractéristiques géologiques peuvent être conservées, visualisées et interprétées à des fins de recherche, d'éducation et de géotourisme (Encadrés 4.5 et 6.1). Ils peuvent inclure des sections de conservation ou des terrils contenant des spécimens importants de minéraux. Lorsque possible, la restauration pour le géopatrimoine doit être intégrée avec celle des travaux de minéraux pour la biodiversité et le gain d'habitats (par ex. le programme Nature après les minéraux, en Angleterre, réalisé conjointement par Natural England et la Société royale pour la protection des oiseaux, avec la communauté minière). En l'absence de législation, Prosser (2016) souligne l'importance de « développer des partenariats mutuellement bénéfiques qui célèbrent la contribution positive de l'industrie de l'extraction des minéraux pour la géoscience, l'éducation et la conservation, tout en conservant en même temps les caractéristiques géologiques, les spécimens et les données qui peuvent surgir de ces opérations ».

Recommandations pour la gestion et la restauration des carrières :

- Garantir un dialogue précoce entre les parties prenantes, afin que les intérêts du géopatrimoine soient inclus dans les plans de restauration ;
- Sécuriser un accès pour l'enregistrement et la collecte dans les carrières en activité ;
- Intégrer le géopatrimoine et la restauration de la biodiversité ;
- Sécuriser et préserver les principales expositions ou terrils comme zones de conservation, grâce aux techniques appropriées ;



Photo 6.3 La construction de routes rend l'accès plus facile pour les touristes voulant découvrir la Zone de conservation de Ngorongoro, Tanzanie, et sa vie sauvage importante ; mais cela accentue les pressions sur la gestion de la conservation de la zone. © Roger Crofts

- Contrôler l'empiètement de la végétation ;
- Développer des occasions d'interprétation.

Développement et urbanisation des terres

Le développement des terres pour la construction de routes, de maisons, d'industries et d'autres utilisations peut avoir d'énormes impacts sur le géopatrimoine : il remodèle les topographies naturelles, endommage les structures des sols, interrompt les processus géomorphologiques et altère l'hydrologie de la zone, par ex. lors de l'installation de revêtements en surface à faible perméabilité. Lorsque de nouveaux bâtiments doivent être construits dans les aires protégées, il convient de faire attention à leur implantation et à leur design, afin qu'ils s'intègrent harmonieusement dans le paysage local. Lorsque des routes doivent être construites, il convient d'essayer de suivre la topographie existante, et d'éviter les grandes sections et les remblais. Néanmoins, lorsque la construction de sections de routes est nécessaire, toutes les strates géologiques révélées doivent être laissées exposées pour les futures recherches et études, suivant les conseils de Prosser et al. (2006). Dans certains cas, une restauration partielle est possible après des dommages causés par le développement.

Recommandations pour la gestion et la restauration :

- Garantir un dialogue précoce entre les parties prenantes, afin que les intérêts du géopatrimoine soient inclus dans les plans de développement et de restauration ;
- Garantir un accès pour l'enregistrement et la collecte lors des travaux de développement ;
- Intégrer la conservation du géopatrimoine avec la restauration du paysage ;
- Sécuriser et maintenir les principales expositions ou reliefs comme des sections ou des sites de conservation, en utilisant les techniques appropriées ; et
- Développer des occasions d'interprétation.

Gestion et ingénierie côtière

L'installation de défenses côtières lourdes peut avoir des effets importants sur la géodiversité. Tout d'abord, elles sont conçues pour empêcher l'évolution naturelle du littoral. Deuxièmement, elles peuvent dissimuler d'importantes expositions géologiques côtières, et les rendre inaccessibles pour des études futures. Troisièmement, elles peuvent aboutir à la stabilisation des reliefs côtiers actifs, comme les systèmes de dunes, et ainsi empêcher l'échange de sédiments entre les plages et les dunes. À Burnie, Tasmanie, Australie, un monument géologique protégé (comprenant des dikes de dolérite du Précambrien) a été couvert lors d'un projet de réclamation côtier (C. Sharples, pers. comm.). Lorsque la protection côtière est nécessaire, l'utilisation de méthodes d'ingénierie douce est recommandée, comme la réalimentation artificielle des plages en sable.

Des approches plus stratégiques sont de plus en plus adoptées à partir de la compréhension des processus à l'échelle des systèmes côtiers régionaux, ou des cellules côtières. Ainsi, des effets négatifs potentiellement plus importants peuvent être

pris en compte, des zones de conflit peuvent être identifiées et résolues, et la gestion peut être davantage intégrée grâce aux plans de gestion du littoral. Même si les protections lourdes seront probablement encore nécessaires pour sécuriser les infrastructures essentielles, des solutions plus naturelles sont de plus en plus débattues et déployées ailleurs, pour des raisons environnementales et financières (Spalding et al., 2014 ; Cohen-Shacham et al., 2016 ; Williams et al., 2018 ; Morris et al., 2019) ; (voir aussi la Section 5, et le site Internet des Solutions naturelles de la CMAP/UICN). Un bon exemple de l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation de ses effets dans les marais de mangroves est l'étude de cas 1.1 dans Gross et al. (2016). L'équipe du partenariat « Science pour la nature et les populations » sur les défenses côtières possède d'excellents documents pour aider les gestionnaires d'aires protégées.

La reconstitution de plages en ramenant du sable de lieux en aval ou offshore, et en le déposant sur la plage (souvent en association avec d'autres approches) est de plus en plus employée. Il existe une abondante littérature sur les solutions durables en matière de gestion côtière. Williams et al. (2018) offre une analyse actualisée.

Les activités près du rivage et offshore peuvent avoir un impact négatif sur les caractéristiques du géopatrimoine côtier et offshore, en endommageant les reliefs ou en perturbant les processus naturels. Voir Spalding et al., 2014 et Pontee et al., 2016 pour plus de conseils. Recommandations pour la gestion et la restauration des côtes :

- Adopter une approche côtière de gestion par cellule ;
- Adopter une gestion naturelle des crues et des techniques de protection des côtes ;
- Travailler avec les processus naturels en utilisant des interventions minimales (par ex. réalignement géré, réalimentation des plages et restauration de la connectivité entre les sources de sédiments et les puits), plutôt que « réparer et contrôler » ;
- Intégrer les objectifs de géodiversité et biodiversité ; et
- Localiser ou relocaliser les infrastructures loin des rivages côtiers actifs.

Gestion et ingénierie des cours d'eau

Comme l'ingénierie côtière, l'ingénierie hydrique a aussi des impacts sur les caractéristiques et processus naturels. De nombreux cours d'eaux ont été « canalisés, rectifiés, endigués, coincés dans des barrages, détournés, recouverts d'un ponceau, dragués et isolés de leurs plaines d'inondations » (Gray, 2013). Que nous soyons en présence de l'un ou plusieurs de ces cas, la dynamique du cours d'eau est modifiée, et le lit naturel du cours d'eau, ses berges ou les habitats de ses plaines d'inondations sont négativement impactés.

La construction d'un barrage est l'action la plus grave, car elle modifie le régime hydrique en aval et a un impact sérieux sur le paysage. L'un des barrages les plus controversés construit dans une aire protégée est le barrage de O'Shaughnessy, construit en 1913 dans la vallée de Hetch Hetchy, dans



Photo 6.4 Une ingénierie lourde avec une digue pour arrêter l'érosion des falaises et des épis pour capter le sable peuvent être parfois nécessaires, mais il est recommandé d'expérimenter en premier lieu des approches d'ingénierie douce alternatives. Folkestone, Angleterre. © Roger Crofts



Photo 6.5 La stabilisation du sable grâce au plantage d'herbes natives est une excellente méthode. Site naturel des dunes de Doolough, Mayo, Irlande. © Roger Crofts



Photo 6.6 Le barrage de O'Shaughnessy, très controversé, dans la vallée de Hetch Hetchy dans le Parc national de Yosemite, Californie, États-Unis. La construction de barrages et l'inondation de terres est un vieux problème dans de nombreuses aires protégées montagneuses. L'atténuation est très limitée, à moins que les structures ne soient purement et simplement démolies. © Murray Gray



Photo 6.7 Certains des plus beaux exemples dans le monde de terrasses formées par de l'eau de fonte glaciaire sont désormais submergés sous les eaux du réservoir de Háslón, Islande, ce qui affecte les flux de l'eau et des sédiments aussi bien en amont qu'en aval. Il y avait pourtant une très forte opposition à la construction de ce barrage. Le site est désormais exclu du Parc national de Vatnajökull, Islande, malgré une forte opposition. © Roger Crofts



Photo 6.8 Le Danube et son canal en aval à Vienne, Autriche, ont été redressés pour améliorer la navigation. De nouvelles mesures ont été prises pour restaurer les voies naturelles d'inondation du fleuve dans le Parc national Danube-Auen. © Roger Crofts

le Parc national de Yosemite, Californie, États-Unis, pour approvisionner San Francisco en eau. Sa construction a été controversée, et la polémique n'est pas terminée. Un exemple plus positif est l'action d'opposition - la démolition du barrage - réalisée dans le Parc national Olympique, Washington, États-Unis. Elle a permis de détruire les barrages d'Elwha et de Glines Canyon. Ils avaient été construits au début des années 1900 pour fournir de l'hydroélectricité pour l'industrie du bois et les villes locales. Cependant, ces deux barrages bloquaient la migration des saumons remontant le courant, perturbaient le flux des sédiments en aval, et avaient inondé les terres historiques et les sites culturels de la tribu Lower Elwha Klallam Tribe. En 1992, l'histoire de ce cours d'eau a changé lorsque le Congrès américain a voté la Loi de restauration de la pêche et de l'écosystème de la rivière Elwha, autorisant ainsi la démolition du barrage. Après deux décennies de planification, la plus grande démolition de barrage dans l'histoire nord-américaine a commencé en 2011 avec le barrage d'Elwha, suivi de Glines Canyon en 2014. Aujourd'hui, la rivière Elwha et ses sédiments circulent à nouveau librement depuis sa source dans les montagnes Olympiques jusqu'au détroit de Juan de Fuca (voir photo en couverture de cette Section).

Les approches conventionnelles de gestion des cours d'eau impliquent généralement de l'ingénierie lourde, avec l'utilisation d'enrochements ou de gabions pour stabiliser les berges du canal. De telles approches entravent la dynamique naturelle du système hydrique, et peuvent en outre endommager les berges de la rivière et les habitats et espèces du canal, et aboutir au transfert de problèmes plus bas en aval. Du point de vue de la conservation, l'ingénierie lourde doit être restreinte à la protection d'installations, de bâtiments et d'infrastructures

essentiels. Les nouvelles approches reconnaissent de plus en plus l'importance de la gestion à l'échelle du bassin versant, et la valeur des solutions fondées sur la nature, lesquelles impliquent de travailler avec la nature par des mesures qui rétablissent les débits naturels de l'eau, par ex. en diminuant le débit dans les rivières, et en encourageant l'augmentation du stockage des eaux de pluies dans les plaines d'inondations (Poff et al., 1997; Poff, 2018; Palmer & Ruhi, 2019). Des conseils spécifiques sur les solutions naturelles, ainsi que des exemples, sont disponibles auprès de diverses sources, notamment le Centre de restauration des cours d'eau, et le site Internet Solutions naturelles de la CMAP de l'UICN. L'Encadré 6.2 donne un exemple précis.

En janvier 1997, le Parc national de Yosemite, Californie, États-Unis, a connu sa plus importante inondation en au moins 100 ans. Cette inondation humainement dévastatrice a néanmoins eu des conséquences positives en matière de restauration. L'organisme en charge de l'aire protégée s'est engagé à relocaliser autant d'installations que possible hors de la plaine d'inondation de la rivière Merced, ou même hors de la vallée de Yosemite. Ces nouvelles installations sont situées hors de la plaine d'inondation et loin des zones humides, prairies, et terres boisées sensibles - et même loin du lit de la rivière. On estimait au départ que les projets de réhabilitation après l'inondation seraient terminés en 4 à 5 ans, mais une série de procès ciblant des projets spécifiques, des injonctions de tribunaux et la préparation des documents pour la planification du parc ont allongé les délais, qui sont désormais de 15 ans. Le rapport final de l'activité de restauration est disponible en ligne (Service des Parcs nationaux américains, 2013).



Photo 6.10 Les reliefs laissés par le retrait d'un glacier de l'âge des glaces ne sont pas visibles par la plupart des visiteurs, car ils sont dissimulés par une forêt plantée, vue en haut de la photo. Les visiteurs doivent grimper une colline escarpée pour avoir la vue que l'on a sur cette photo. Il apparaît évident que les exploitants forestiers n'ont pas pensé à la visibilité de cet intérêt du géopatrimoine. Réserve naturelle nationale de Coire Fee, Écosse. © Roger Crofts

Recommandations pour la gestion et la restauration des cours d'eau :

- Adopter une approche de gestion fonction du bassin versant ;
- Adopter des techniques de gestion naturelle des inondations (par ex. restauration des rivières et plaines d'inondation) ;
- Rétablir les débits naturels ;
- Travailler avec les processus naturels en intervenant au minimum plutôt que de « réparer et contrôler », laisser de la place pour reconnecter les cours d'eau et leurs plaines d'inondation, et restaurer la connectivité en amont et en aval ;
- Rechercher un accord pour supprimer les obstacles au débit naturel et au transfert de sédiments, comme les barrages ;
- Intégrer les objectifs de géodiversité et biodiversité ; et
- Localiser ou relocaliser les infrastructures en dehors des plaines d'inondation actives.

Foresterie et végétation

Les principaux impacts de la foresterie et de la végétation sont leur potentiel à dissimuler les expositions rocheuses, les reliefs individuels ou les associations de reliefs sur une zone, réduisant ainsi la continuité visuelle et dissimulant les points de vue. Dans le cas d'opérations de plantage, l'utilisation d'un équipement mécanique à grande échelle peut compacter les sols, altérer leur hydrologie, et détruire les reliefs subtils.

Cela se vérifie également pour les opérations d'exploitation du bois, qui doivent être réalisées avec autant de sensibilité environnementale que possible. L'arrachage d'arbres peut également accroître le ruissellement de surface, l'érosion des sols et l'apport de sédiments dans les cours d'eau.

Le boisement à grande échelle est généralement incompatible avec les objectifs de gestion de la conservation pour les grands sites géomorphologiques. Dans les années 1970, la Commission des forêts de Grande-Bretagne avait des projets de plantation de conifères dans la Réserve naturelle nationale de Glen Roy, où les célèbres Routes parallèles de Glen Roy sont visibles sans discontinuer sur plusieurs kilomètres. Ces lignes de démarcation d'un ancien lac glaciaire auraient été totalement cachées par ces arbres et le projet a été abandonné lorsque la communauté des géoscientifiques a pointé du doigt ces impacts négatifs. Lorsque des sites sont déjà boisés pour la foresterie commerciale, un dialogue avec les exploitants forestiers peut être envisageable afin de dégager des reliefs ou points de vue précis. Dans le cas des sites à petit relief et d'exposition rocheuse, la principale exigence en matière de gestion est de laisser les caractéristiques non-plantées, et de préserver l'accès et les points de vue.

La régénération naturelle des terres boisées sur de grands sites géomorphologiques est potentiellement encore plus insoluble. Tant qu'il ne sera pas possible de garder tous les reliefs en « pays ouvert », les sites les plus représentatifs et précieux doivent être identifiés et gardés visibles et accessibles, grâce à l'intervention de la gestion, et en gardant à l'esprit les problèmes évoqués dans la section 6.5 (voir Encadré 6.3).

Encadré 6.2**Amélioration de la qualité de l'eau de la rivière Reka, Parc régional de Škocjanske jame, Slovénie**

Le Parc régional de Škocjanske jame est situé sur le plateau de Kars, au sud-ouest de la Slovénie. Cette aire protégée de 413 ha conserve un réseau de grottes calcaires exceptionnelles, avec notamment l'un des plus grands canyons souterrains au monde connu, qui est découpé dans le lit calcaire par la rivière Reka. La zone tampon, de 45 000 ha, inclut l'ensemble du bassin de la Reka.

Škocjanske jame est protégé comme monument naturel depuis 1980, et a été inscrit sur la Liste du patrimoine mondial en 1986. La loi sur le Parc régional de Škocjanske jame de 1996 a créé un organisme public chargé de gérer l'aire protégée. Les grottes ont été incluses sur la liste Ramsar de zones humides d'importance internationale en 1999. Depuis 2004, le Parc est également reconnu par le Programme de l'UNESCO sur l'homme et la biosphère, en tant que Réserve de biosphère du Karst.



Photo 6.9 La Reka s'écoule dans la grotte de Škocjanske jame. © Borut Lozej

La pollution de la Reka a commencé avec l'industrialisation en 1960. Les plus gros pollueurs étaient les usines locales de transformation du bois et d'acide organique, et la décharge associée. La qualité de l'eau s'est dégradée du fait de processus de décomposition ou de digestion anaérobie intensive, où des micro-organismes consommaient la substance organique qui servait de source d'alimentation et d'énergie, produisant en particulier de la biomasse résiduelle et des produits gazeux ou hautement volatiles. Ces micro-organismes (comme les mucilages, les algues et les bactéries filamenteuses) étaient normalement attachés au bas du lit de la rivière et aux berges pendant les périodes de faible débit, puis l'augmentation du débit les enlevait. Le flux charriait les particules de sédiments, les composés décomposés pendant les processus de digestion, et la biomasse en aval, où ils étaient déposés. Dans le sous-sol karstique, ils ont été soumis à un processus de digestion anaérobie, qui est donc passé d'une section de la Reka à une autre.

La qualité de la rivière s'est améliorée à partir de 1990, lorsque l'une des usines a fermé. Avant cela, certaines mesures de pré-traitement avaient été exigées auprès de l'usine locale de production de panneaux de bois, comme la fermeture du circuit des eaux usées, la réutilisation d'une partie de la masse ligneuse dans la production, et la construction d'une usine de traitement de l'eau au sein du complexe industriel.

Selon l'Agence environnementale de Slovénie, le statut écologique et chimique des eaux dans la zone tampon est bon. De temps en temps, une pollution de l'eau et une mousse apparaissent en surface avant que la Reka n'entre dans la grotte dans le Parc de Škocjanske jame.

En 2017, le ministère de l'Environnement et de la Planification spatiale, en collaboration avec le Parc des grottes de Škocjan et la municipalité d'Illirska Bistrica, a commencé la réhabilitation de la décharge industrielle. Une étude renseignant précisément la condition de la décharge, la structure et la quantité des déchets, et l'analyse du lixiviat, vient d'être terminée, et constitue la première étape de la réhabilitation.

L'Agence est également activement impliquée dans diverses activités éducatives et de sensibilisation dans la zone tampon, et encourage la résolution d'anciens problèmes écologiques et des mesures pour empêcher les nouvelles pollutions d'apparaître.

Contributeur : Rosana Cerkenik

Encadré 6.3

Gestion des tors et de la végétation

Les tors sont des reliefs rocheux qui se dressent parfois jusqu'à 20-30 m de hauteur au-dessus de sommets ou de crêtes montagneuses. Les tors sont généralement constitués de granite, ou d'autres types de roches cristallines (gneiss et quartzite en particulier) ou de certains types de grès. Les tors ont non seulement une valeur scientifique considérable, car ils permettent d'interpréter l'évolution géomorphologique d'une zone, mais ils ont aussi une valeur culturelle, car ils sont associés à des cités antiques, des contes folkloriques, de l'art, un tourisme précoce et une interprétation du paysage (Migoń, 2006).

La croissance des broussailles et des arbres est un problème important pour la gestion de la conservation dans les zones sous la limite des arbres, car ils dissimulent les tors. Les expériences dans des pays comme l'Autriche, la République tchèque, l'Allemagne, la Hongrie et la Pologne, où les tors sont très souvent à la limite de la croissance forestière, illustrent les diverses approches possibles face à cette question, et les différentes politiques des parties prenantes.

Le tor de Kogelsteine, Autriche, se trouve dans un terrain majoritairement sans arbres, avec des broussailles éparpillées, des surfaces herbeuses avec une végétation de steppe et des vignobles dans les environs, qui ont un fort attrait esthétique. En 2009, une réserve de nature a été créée sur 2,5 ha, afin de protéger les précieuses communautés de plantes de steppe. La gestion de la conservation comprend la suppression des espèces envahissantes, comme l'acacia, et l'introduction du pâturage. Ainsi, la principale motivation pour la suppression périodique de la végétation est de soutenir les pâturages secs, mais cette gestion a également été bénéfique pour la visibilité du géopatrimoine. Cet exemple montre que les exigences de gestion pour la biodiversité et le géopatrimoine ne sont pas forcément en conflit, et peuvent au contraire entraîner des bénéfices mutuels.

Ailleurs, la principale motivation est de préserver l'exposition et la visibilité du tor, surtout pour sa signification culturelle. Ainsi, dans la localité de Teufelsmauer à Harz, Allemagne, un rocher en grès en paysage ouvert depuis le 19^e siècle est considéré comme un repère régional. À l'opposé, d'autres tors de granite à Waldviertel ont lentement disparu de la vue, du fait d'un boisement spontané et incontrôlé, ou planifié. On trouve dans la localité de Steingarten près de Litschau des tors avec des formes (trous, flûtes et tafonis) et des rochers spectaculaires mineurs érodés par le temps, avec des exemples classiques de pentes évasées, qui indiquent leur émergence progressive du sol. Cependant, aucune mesure de conservation n'est appliquée, et une partie considérable de la zone est recouverte de forêts nouvellement plantées. Certains tors sont déjà dissimulés dans la forêt, et plusieurs rochers émergents seront bientôt complètement recouverts. Même s'il n'est pas possible de garder tous les tors dans des conditions de paysage ouvert, l'inventaire du relief et une évaluation significative du géopatrimoine doivent renseigner les politiques forestières, afin de garder les sites les plus précieux visibles et accessibles.

Contributeur : Piotr Migoń

À une échelle plus fine, l'empiètement de la végétation est souvent une préoccupation dans la gestion des sites de petits reliefs et d'exposition rocheuse. Une intervention pour défricher est parfois nécessaire, telle que spécifiée dans le plan et les objectifs de gestion du site (par ex. si plus de 50% de l'exposition est recouverte ; voir Section 5.2). Cela dépendra de la nature de la caractéristique d'intérêt (par ex. le défrichement répété d'expositions de sédiments tendres peut progressivement endommager l'intérêt), et du type et de la fréquence d'utilisation (par ex. un site de recherche peut demander un défrichement occasionnel lorsque de nouvelles études sont menées, alors qu'un site solide et très visité utilisé pour le géotourisme demandera un défrichement régulier).

Des informations et conseils pour arbitrer le conflit entre la conservation de la biodiversité et celle de la géodiversité sont donnés dans la Section 6.5.

Recommandations pour la gestion de la foresterie et de l'empiètement de la végétation :

- Éviter le boisement de sites à grande échelle, qui dissimule les principales caractéristiques ;
- Préserver l'accès à, et la visibilité des principales expositions et reliefs ;

- Réaliser un suivi de la condition du site pour renseigner les décisions sur le besoin de défricher un site, conformément aux objectifs de gestion ; et
- Intégrer autant que possible les objectifs de gestion de la géodiversité et de la biodiversité.

Agriculture

L'agriculture peut potentiellement transformer les sols, entraînant érosion, compactage, pollution, salinisation et changements dans l'hydrologie des sols et l'écologie. Le labourage des pentes peut augmenter le ruissellement et l'érosion des sols, et avoir des effets négatifs sur les caractéristiques protégées en aval. Le labourage peut également détruire les reliefs délicats, comme les caractéristiques périglaciaires (c.-à-d. celles formées par les processus de gel/dégel), les dunes de sable basses, ou les canaux abandonnés sur les terrasses des cours d'eau. Lorsque l'agriculture est pratiquée dans des zones karstiques, ses impacts peuvent inclure la pollution ou la sédimentation des réseaux de grottes et des eaux par le ruissellement des eaux de ferme, ou la surutilisation de pesticides ; les changements dans l'hydrologie karstique du fait d'opérations d'agriculture en surface ; ou l'enfouissement des déchets de ferme dans les cavités karstiques et les entrées de grottes.



Photo 6.11 Tors dans la zone montagneuse de Morne, désignée zone de beauté naturelle exceptionnelle, Irlande. Ils révèlent leur structure et leur forme lorsqu'ils ne sont pas dissimulés par la végétation. © Bob Aitken



Photo 6.12 Exemple de l'effet dramatique de l'utilisation de terres pour l'agriculture sur la fonctionnalité d'une tourbière surélevée, par la suppression de la couche de tourbe de surface, le drainage du sol et la plantation d'arbres. Aujourd'hui, la seule façon de gérer l'intérêt naturel restant est de surélever la nappe phréatique de la tourbière. Réserve de nature nationale de Flanders Moss, Écosse. © Roger Crofts



Photo 6.13 Les spéléothèmes sont des dépôts dans des cavités particulièrement fragiles. Dans cette grotte éthiopienne, un fin rideau de coulées stalagmitiques a été cassé par les villageois locaux pour les vendre comme souvenirs. Une pratique plus durable consiste à dissuader les visiteurs d'acheter des spéléothèmes, et à persuader les villageois locaux de protéger leurs grottes et de faire payer les touristes qui les visitent. © John Gunn

Dans certains paysages, toutes les collines et leurs sols ont été transformés par la construction de terrasses pour la culture du riz ou du vin.

Recommandations pour gérer les menaces et les pressions de l'agriculture :

- Étudier le type d'agriculture adjacent à l'aire protégée, afin d'évaluer les menaces aux caractéristiques et processus du géopatrimoine au sein de l'aire protégée ;
- Fournir des conseils aux agriculteurs et gestionnaires de terres, afin de s'assurer qu'ils comprennent le besoin de changement dans les pratiques pour protéger les caractéristiques et processus du géopatrimoine ; et
- Sécuriser les accords de gestion lorsqu'approprié, afin de restreindre les activités agricoles préjudiciables, et sécuriser la gestion des terres agricoles qui profitent à la géoconservation.

Activités récréatives et tourisme

Certains milieux sont particulièrement vulnérables à l'impact des visiteurs, notamment les dunes de sable, où la stabilité des dunes peut être affectée par les mouvements des véhicules ou des piétons ; et les sédiments volcaniques ou les laves friables, où la conduite hors-piste et le piétinement des visiteurs laisse des cicatrices à long terme dans le paysage. Dans le monument national et réserve Craters of the Moon, à Idaho, États-Unis, la lave est friable et facilement écrasée sous les pieds des visiteurs, à qui il est demandé de rester sur

les sentiers balisés. Une solution est de fournir des moyens d'accès alternatifs qui réduisent les dommages. Par ex., l'accès au volcan dans le Parc national du Teide, un site du patrimoine mondial à Tenerife, îles Canaries, Espagne, se fait surtout par gondole, et un centre des visiteurs a été installé juste en dehors des limites du parc.

Dans les grottes calcaires, les fragiles spéléothèmes (dépôts minéraux formés dans des cavités) peuvent facilement être abimés et le seul fait de les toucher, de respirer ou même la lumière peuvent favoriser la prolifération d'algues. Ce type de zones requiert une gestion très attentive. Dans les milieux montagneux, les impacts sur la géodiversité peuvent être liés à : l'utilisation de boulons sur les façades d'escalade rocheuses ou les sentiers pédestres ; l'érosion du sol liée à la randonnée sur les collines ou au vélo tout terrain ; le compactage du sol à cause du camping ; l'élimination inadéquate des déchets humains ; le noircissement des terres à cause des feux de camp ; et le déplacement de pierres pour construire des feux de camp, des coupe-vents ou des cairns. Dans le Parc national de Yellowstone, États-Unis, les visiteurs jetaient des pièces, des pierres, des branches, des vêtements et autres objets dans les geysers. Par ailleurs, sur les fumerolles (cheminées thermales) de certaines îles portugaises de l'archipel des Açores, dans l'Atlantique, les familles locales avaient pour habitude d'enfouir dans le sol de grandes marmites de viande et de légumes, laissant ainsi la chaleur géothermique cuire leurs aliments. Dans le Monument régional naturel des Furnas do Enxofre, sur l'île de Terceira, Açores, cette perturbation du terrain est désormais interdite par la loi.

Tous les géosites ne conviennent pas au géotourisme, du fait de la sensibilité de leurs caractéristiques d'intérêt (par ex. la présence de fossiles rares et de minéraux demandant à être protégés des collectionneurs commerciaux et de la collecte de fossiles irresponsable), ou du risque de dangers naturels particuliers (par ex. éruptions volcaniques). Il existe de nombreuses façons de contrôler l'accès, par exemple en zonant certaines zones pour les interdire aux visiteurs, ou en autorisant l'accès uniquement avec un permis ou un guide accrédité. Dans le cas d'autres sites sensibles, il peut être utile de procéder à une évaluation de la capacité de charge de visiteurs pour protéger les caractéristiques fragiles et maintenir la qualité de l'expérience du visiteur. Restreindre l'accès à certaines parties d'un réseau de cavités, où il y a des reliefs fragiles, et permettre l'entrée de visiteurs avec un guide uniquement, est une pratique répandue, par ex. dans la grotte d'Aven d'Ornag, en Ardèche, France.

Le géotourisme doit également être sensible aux valeurs et cultures des communautés locales, en reconnaissant que les cultures peuvent avoir des normes, valeurs et interprétations du paysage différentes, et en intégrant le savoir local, fondamental à la gestion durable des biens du géotourisme. Par ex., lorsque des géosites ont des caractéristiques d'intérêt culturelles et/ou spirituelles, il faut prendre en compte les sensibilités particulières et la préservation de l'accès traditionnel. Le zonage de la gestion, ou l'emploi de guides locaux, dans les zones sensibles et pour présenter les



Photo 6.14 Le développement de la pratique du ski en frontière d'aire protégée peut causer une érosion des pentes s'il n'est pas bien géré, et affecter l'intégrité du site. Parc national de Kosciuszko, Australie. © Roger Crofts



Photo 6.15 Un trop grand nombre de visiteurs peut gâcher leur expérience. Lac aux cinq couleurs, Parc national de Jiuzhaigou, Chine. © Roger Crofts



Photo 6.16 Autoriser les véhicules à rouler dans les dunes de sable côtières et sur les plages crée une érosion difficile à inverser lorsque le sable est transporté par le vent. L'accès des véhicules doit être interdit. Parc national de Vadehavet, Danemark. © Roger Crofts

interprétations autochtones du paysage, peuvent également être envisagés.

L'évaluation des risques des dangers réels et potentiels doit être prise en compte dans sa totalité lors de l'évaluation de l'utilisation et de la gestion potentielles des sites pour le tourisme. Les Lignes directrices des meilleures pratiques sur la Gestion du tourisme et des visiteurs dans les aires protégées rédigées par la CMAP/UICN sont une source d'informations précieuse. Les visiteurs dans des sites naturellement dynamiques peuvent être exposés à des dangers, avec des risques de blessures ou de mort. Certains de ces risques peuvent être accrus par le changement climatique, par ex. l'instabilité accrue des pentes du fait des glissements de terrain et des chutes de rochers, dues à des précipitations intenses ou à la fonte du permafrost. Il existe un nombre grandissant d'études de cas sur la cartographie des risques pour les sentiers de géotourisme, dans différents milieux (voir par ex. Pelfini et al., 2009 ; Brandolini & Pelfini, 2010 ; Bollatti et al., 2013). Par ex., les milieux glaciers montagneux ont un intérêt pour le géopatrimoine significatif, d'un point de vue scientifique, culturel, esthétique, paysager et éducatif. Ils sont souvent des attractions populaires, accessibles par le biais de sentiers de randonnée ou d'interprétation. Cependant, ils sont aussi des milieux dynamiques et instables, qui peuvent présenter de nombreux risques pour les visiteurs (chutes de pierres des falaises, débris tombant des moraines latérales élevées, glaciers tombant dans les lacs, et érosion des cours d'eau). Certains de ces risques sont exacerbés par le changement climatique. Les évaluations des risques ont été utilisées pour renseigner la pertinence pour les différents utilisateurs des sentiers touristiques reliant les sites géomorphologiques près



Photo 6.17 La collecte de fossiles sur le site du patrimoine mondial de la côte du Jurassique, Angleterre, est gérée par un gardien spécialement nommé à cet effet, et un code de pratiques. © Sam Rose

du glacier de Miage, dans les Alpes italiennes (Bollatti et al., 2013). En Nouvelle-Zélande, l'accès à l'avant des glaciers de Fox et Franz Josef a été fermé, car le retrait rapide du glacier a significativement augmenté le risque de chutes de pierres, et la modélisation indiquait un accroissement du risque d'éboulement de débris de roches sur la surface basse du glacier Fox, pouvant blesser les randonneurs hélicoportés sur le glacier (Purdie et al., 2018).

Les zones volcaniques sont un bon exemple des risques sur les humains dans les aires protégées de géoconservation. Si une aire protégée volcanique n'est pas établie comme telle pour ses attributs géologiques, le risque de conditions dangereuses (par ex. éruptions, émissions de gaz, glissements de terrain et autres risques volcaniques) peut potentiellement ne pas être correctement abordé dans le plan de gestion du site, ou le personnel de l'aire protégée peut ne pas être suffisamment formé à l'identification et l'atténuation des risques, et à l'évacuation. Attirer des visiteurs dans des zones volcaniques actives exige parallèlement de surveiller l'activité volcanique et de mettre en place des plans d'urgence comme composantes essentielles du processus de gestion, quitte à avoir des restrictions d'accès. Cependant, si les caractéristiques géologiques du site ne sont pas correctement identifiées, le plan de gestion ne prendra pas correctement en compte les risques, et les caractéristiques volcaniques principales du site ne recevront peut-être pas l'attention ou la protection adéquate de la part de l'organisme de gestion.

Dans le cas des sites géomorphologiques dynamiques, où l'intérêt réside dans les processus actifs, ou bien où l'atténuation des risques pour les visiteurs n'est pas réalisable, il sera indispensable de réaliser une évaluation des risques supplémentaires, et d'établir des mesures appropriées, comprenant éventuellement l'exclusion ou le réacheminement de l'accès des visiteurs et la gestion des attentes des visiteurs. Parallèlement, des campagnes d'éducation sont indispensables pour améliorer les connaissances des visiteurs, des exploitants et des employés du site, et les mesures de réponse d'urgence.

Une bonne communication entre les scientifiques et les gestionnaires de risques est essentielle pour que les gestionnaires prennent des décisions solides et défendables.

Recommandations pour gérer les menaces et pressions du géotourisme :

- Réaliser une évaluation des risques de toutes les menaces et risques pour les visiteurs, et identifier les mesures requises ;

Tableau 6.3 Impacts du changement climatique sur les géosites.

Impacts sur les sites d'exposition, d'intégrité et finis
(-) érosion naturelle accélérée, croissance de la végétation, exigeant une fréquence accrue d'interventions de gestion
(-) disparition de caractéristiques du fait de l'érosion accrue, ou enfouissement du fait de dépôts accrus
(-) scellage des expositions du fait de la demande accrue de défenses lourdes des côtes/cours d'eau
(-) submersion des expositions
(-) changements dans l'utilisation des terres affectant la visibilité et l'accès
(+) nouvelles expositions créées par l'érosion et les glissements de terrain
(+/-) repositionnement des expositions du fait de la modification des schémas d'érosion

- Évaluer le niveau de pression des visiteurs que les caractéristiques ou les processus du géopatrimoine peuvent absorber sans être endommagés, et prendre les mesures requises pour minimiser les dommages ;
- Restreindre l'accès en partie ou en totalité, selon le risque pour les intérêts du géopatrimoine du site ou les visiteurs ; et
- Établir une communication efficace avec les visiteurs sur les mesures de gestion pour protéger les caractéristiques et processus du géopatrimoine (voir Leung et al., 2019, pour des recommandations plus détaillées).

Collecte irresponsable de spécimens

Souvent, les visiteurs aiment collecter des spécimens géologiques, qu'il s'agisse de jolies pierres colorées, de morceaux de stalactites ou de fossiles. Lorsque la ressource géologique est importante, les activités contrôlées de collecte sont tout à fait acceptables, voire peuvent être encouragées pour stimuler l'éducation et la passion de la géologie. La collecte de fossiles peut aussi être encouragée lorsque le matériel est menacé par l'érosion côtière, les carrières ou d'autres pertes inévitables. Le problème se pose en présence d'une quantité limitée de ressources géologiques, ou de spécimens très rares ou scientifiquement précieux.

La situation devient encore plus préoccupante lorsque des collectionneurs commerciaux utilisent des outils puissants pour s'emparer illégalement des fossiles de ces sites protégés, sans déclarer convenablement leurs prises. Les géologues eux-mêmes sont capables de sur-collecter, comme on l'a vu dans la Réserve de fossiles d'Ediacara, en Australie-Méridionale. Le nom de cette réserve et d'autres aires protégées peut même attirer l'attention sur l'importance de ces sites fossilifères. Les géologues endommagent aussi parfois les sites avec leurs carottes destinées à la recherche paléomagnétique.

Vous trouverez des conseils, recommandations de gestion et liens vers des codes de conduites dans la Section 7.3 et notamment le Tableau 7.4.

Impacts sur les sites à processus actifs
(-) réponses humaines aux risques accrus perturbant les processus naturels
(-) changements dans l'utilisation des terres affectant les évacuations des eaux/sédiments
(+) taux accrus de l'activité des processus - plus grand dynamisme et diversité
(+/-) repositionnement des caractéristiques du fait de la modification des schémas d'érosion
(-) impact négatif ; (+) impact positif ; (+/-) impacts positifs ou négatifs



Photo 6.18 Le changement du niveau de la mer aura un effet important sur la fonctionnalité des systèmes côtiers, avec l'érosion côtière et la disparition des tampons naturels, comme les plages et les dunes de sable, ce qui laissera la mer pénétrer dans les terres et fera perdre l'intérêt du géopatrimoine. Site d'intérêt scientifique spécial de la côte est, Orkney, Écosse. L'ingénierie lourde n'offre pas de solution, et une retraite gérée de la côte est probablement le seul mécanisme réalisable. © Roger Crofts



Photo 6.19 L'élévation des terres après le déversement du poids des glaciers continue dans de nombreuses régions du monde, et continuera, surtout avec la fonte des inlandsis (nappes de glace). De nouvelles terres seront révélées, comme dans le golf de Kvarken de Bothnia, site du patrimoine mondial, Finlande. De nouveaux sites à protéger apparaîtront. À l'inverse, des sites côtiers pourront être submergés du fait de l'augmentation du niveau de la mer. © UNESCO

Encadré 6.4**Restauration après l'éruption du mont St-Hélène, États-Unis**

L'éruption du mont St-Hélène en 1980, qui a commencé par une série de petits tremblements de terre à la mi-mars et a culminé avec un effondrement cataclysmique d'un côté de la montagne, une avalanche et une explosion le 18 mai, n'était ni la plus grande ni la plus longue éruption de l'histoire récente de cette montagne. Mais elle possède une importance unique, car elle a été la première éruption sur le sol continental des États-Unis de l'ère d'observation scientifique moderne. Un vaste paysage gris a remplacé les pentes autrefois boisées du mont St-Hélène. En 1982, le Président et le Congrès ont créé le Monument volcanique national du mont St-Hélène, de 110 000 acres, à des fins de recherche, d'activités récréatives et d'éducation. Au sein de l'aire protégée, l'environnement est laissé à l'état naturel et répond ainsi à la perturbation. Depuis l'éruption, avec les années qui passent, le mont St-Hélène donne aux scientifiques une occasion sans précédent d'être témoins des étapes complexes de retour à la vie dans un paysage dévasté (Brantley et Meyers, 2000).

Encadré 6.5**Restauration du géosite d'Alto Vez, mont Peneda, Portugal**

Le géosite d'Alto Vez comprend l'un des champs les plus remarquables de blocs erratiques glaciaires granitiques au Portugal. Ces blocs et d'autres caractéristiques glaciaires, comme la vallée en forme de U et les moraines, justifient qu'Alto Vez soit considéré comme l'un des géosites les plus importants dans l'inventaire du géopatrimoine portugais. Malgré sa pertinence scientifique, il est situé juste à l'extérieur du Parc national de Peneda-Gerês, qui est l'aire protégée la plus importante du Portugal. Ce Parc national a été fondé en 1971 et ses limites ont été définies avant la découverte des caractéristiques glaciaires.

En 2012, un hippodrome a été construit sur le géosite par l'administration locale du village, et les roches erratiques ont été déplacées de leurs localisations originales, ce qui a affecté le paysage naturel et l'intégrité du géosite. Après avoir été prévenu par un citoyen, des mesures judiciaires et administratives ont été prises par l'Institut portugais de conservation de la nature et des forêts et par les autorités municipales, entraînant la fermeture de l'hippodrome, une évaluation de la dégradation, et la définition d'une stratégie pour atténuer les dommages. Un plan de restauration a été élaboré en 2017, à l'aide de photos aériennes réalisées par des véhicules aériens autonomes, des GPS et des processus SIG. La topographie initiale a pu être restaurée grâce à des machines de déplacement de la terre, et les blocs erratiques enterrés ont été identifiés et relocalisés soigneusement à leurs localisations originales. Un plan de gestion du géosite est actuellement élaboré, afin de le protéger plus efficacement par une désignation statutaire et de promouvoir son utilisation à des fins touristiques et éducatives. Cette étude de cas montre qu'une société bien informée est essentielle pour aider les autorités à protéger leur géopatrimoine, et que la restauration d'un géosite est possible lorsque les principales caractéristiques d'intérêt ne sont pas totalement détruites.

Contributeurs : Paulo Pereira, José Brilha, Diamantino Pereira et Renato Henriques.

Changement climatique et changement du niveau de la mer

Le changement climatique anthropique est palpable, et modifie déjà significativement les tendances climatiques, ce qui impacte les systèmes physiques et les caractéristiques et processus du géopatrimoine. Les derniers rapports du GIEC le montrent clairement (IPCC 2019a, 2019b). L'augmentation prévue de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes en particulier est susceptible d'apporter des changements rapides - érosion du sol, graves inondations, mouvement des sédiments et solution accrue des roches calcaires. Les petits glaciers montagneux sont susceptibles de disparaître avec le réchauffement du climat, ce qui réduira le débit hydrique de ces zones en été. Dans les zones périglaciaires soumises à l'alternance du gel et du dégel, le réchauffement pourrait perturber le permafrost, affaiblir et éroder les zones fondues, avec une plus grande incidence de chutes de rochers. Les changements dans les conditions des marées pourront exacerber l'érosion côtière, et l'augmentation du niveau de la mer pourra entraîner des inondations des côtes, une disparition des zones de marais salants, et une intrusion d'eau salée.

Le changement climatique est aujourd'hui reconnu comme une question urgente pour la géoconservation (Gross et al., 2016; Wignall et al., 2018). Des études de l'impact du changement climatique sur les géosites protégés en Grande-Bretagne ont par ex. conclu que les impacts seront plus importants sur les caractéristiques côtières et fluviales à sédiments meubles, les expositions de sédiments finis du Quaternaire, les reliefs dans les localisations côtières et fluviales, les caractéristiques périglaciaires actives, les sites avec des traces des milieux passés, et les sites avec des expositions rocheuses et des fossiles finis ou restreints (Prosser et al. 2010 ; Wignall et al. 2018). Sharples (2011) a enquêté sur les impacts du changement climatique sur la géodiversité de la Zone de nature sauvage de Tasmanie du patrimoine mondial, Australie et cite : une dégradation des sols organiques de landes, de la tourbe, des marais, et des tourbières ; une augmentation de l'érosion et de la sédimentation des canaux ; et davantage d'inondations éclairs et de sédimentation dans les grottes. Réaliser de telles évaluations systématiques des impacts sur le géopatrimoine permettrait une priorisation basée sur les risques pour le suivi et les mesures de gestion dans le cadre d'un plan de mesures

Schéma 6.1. Poster explicatif « Conserver la scène »



CONSERVING THE 'STAGE': LINKING GEODIVERSITY AND BIODIVERSITY IN PROTECTED AREA MANAGEMENT

John E. Gordon and Roger Crofts

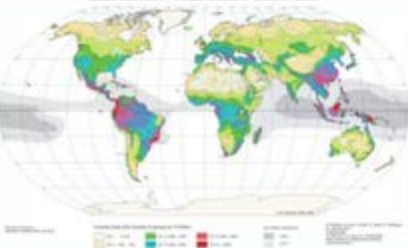
IUCN-WCPA Geoheritage Specialist Group, Scotland, UK



Understanding functional links between geodiversity and biodiversity is crucial for conservation management and ecosystem health in dynamic environments, where abiotic processes (e.g. erosion and deposition) maintain habitat diversity and ecological functions. This is vital at a time when geomorphological systems are expected to respond to climate change and rising sea level.

Conserving the stage

Geodiversity provides the foundation for life on Earth and for the diversity of species, habitats, ecosystems and landscapes. Most species depend on the abiotic 'stage' on which they exist and the linkages and interdependencies between abiotic and biotic nature are clear at global to local scales.



GLOBAL BIODIVERSITY: SPECIES RICHNESS OF VASCULAR PLANTS

Global centres of vascular plants are located in mountain regions in the humid tropics where suitable climate conditions coincide with high geodiversity [Source: Barthlott et al. 2005, *Nova Acta Leopoldina*, 92, 61–83].




Photo © Roger Crofts

Thjersarver Wetlands Ramsar Site, Iceland, fed by water from Hofsjökull ice cap, provides breeding grounds for pink footed geese and vegetation mosaics.

Geomorphological sensitivity to climate change will influence biodiversity adaptations

- Changes in the magnitude, frequency and rate of geomorphological processes may alter distributions of landforms, reduce recovery time between extreme events and lead to longer landform readjustment times following extreme events.
- In extreme cases, the frequency and speed of geomorphological change may mean that habitat recovery is never fully established or that there is a change in process regime.
- Geomorphological responses in one part of a river catchment or coastal cell will also have downstream implications for habitats and species (e.g. arising from changes in discharge or sediment transfer).
- Managing biodiversity adaptations effectively will therefore require consideration of geomorphological sensitivity and making space for natural processes to readjust.



Photo © P&A Macdonald/SHN

Climate change and sea-level rise will lead to more dynamic landscapes that will provide both challenges and opportunities for biodiversity management, Ythan Estuary SSSI and Ramsar site, Scotland.

Geodiversity underpins the heterogeneity of the physical environment in conjunction with climate interactions

- Complex and dynamic geodiversity mosaics generally support high biodiversity;
- Geomorphological processes and disturbance regimes enhance landscape heterogeneity;
- Measures of geodiversity may be useful indicators for the distribution of biodiversity in some environments.




Photo © John Gordon

Geomorphologically dynamic environments provide a mosaic of habitats: Tatra National Park, Poland.

Improving protected area design

- Where geodiversity is a useful indicator of biodiversity, combining abiotic targets with biotic targets can result in a system of protected areas that is more representative of a region's biodiversity.
- In the face of climate change, protected area design that incorporates geodiversity should enhance resilience and sustain key processes.



Photo © Kamil Ahošova/KENAI

Plant distributions closely reflect the interactions of topography, geomorphology and climate, Krkonoše/Karkonosze National Parks and Krkonoše/Karkonosze Transboundary Biosphere Reserve, Czech-Poland.

Geodiversity assists biodiversity resilience to climate change through:

- providing a range of potential macro- and micro-refugia;
- enabling species to adapt or relocate through the availability of suitable environmental mosaics, connections, corridors and elevational opportunities.




Photo © Roger Crofts

Geodiversity underpins landscape heterogeneity: Vanoise Parc National – Beaufortain, France.

Informing restoration and adaptive management

- Conservation of geosites with records of past environmental changes ensures that temporal records can inform restoration and adaptive management, not to provide static baselines, but to help understand past ranges of natural variability and future trajectories of change.
- Effective restoration requires reinstating functional links (e.g. between rivers and their floodplains).



Photo © P&A Macdonald/SHN

Palaeochannels record past river changes: River Clyde Meanders SSSI, Scotland.

Conclusions & implications for protected area management

- Delivering long-term biodiversity targets where communities are likely to change may be enhanced by protecting geodiversity and making space for natural processes that enhance landscape heterogeneity.
- Conservation of geodiverse, heterogeneous landscapes should underpin the development of robust protected area networks that help to maintain the resilience and adaptive capacity of biodiversity in the face of climate change.
- It is vital that geodiversity and geoheritage are fully integrated into the selection, management and monitoring of protected areas as part of an ecosystem approach that recognises the value and integrity of both abiotic and biotic processes in nature conservation.

John Gordon: jeg4@st-andrews.ac.uk

Roger Crofts: roger.dodin@btinternet.com

contre le changement climatique. L'établissement préalable de seuils qui, s'ils sont franchis, activeront les interventions de gestion pour atténuer les menaces lorsque possible est une composante essentielle de ce processus.

Il est probable que les systèmes actifs géomorphologiques, hydrologiques et des sols, en particulier, seront profondément transformés du fait du changement climatique. Outre l'altération des caractéristiques géomorphologiques, ces changements peuvent également entraîner une érosion ou un enfouissement des dépôts d'autres caractéristiques du géopatrimoine (Tableau 6.3). En outre, les caractéristiques géomorphologiques dynamiques peuvent migrer hors des frontières des aires protégées existantes. Des menaces associées peuvent advenir des effets de l'augmentation du niveau de la mer, des tempêtes dans certaines régions du monde, et surtout des réponses humaines (par ex. sous la forme de demandes d'installations de protections lourdes contre les inondations le long des cours d'eau et sur la côte), qui cachent les expositions et perturbent les processus naturels. Il y a fort à parier que se protéger de la perte potentielle de son bien ou d'infrastructures sera considéré comme plus important que la perte du géopatrimoine. Ces menaces présentent donc des problématiques de gestion particulières, qui nécessitent une collaboration entre les gouvernements, les planificateurs, les décideurs et les communautés locales, afin de garantir la gestion durable du géopatrimoine dans le cadre de stratégies d'adaptation plus vastes, à long terme, pour protéger les services écosystémiques. Cependant, dans une procédure judiciaire qui a fait date en Angleterre, les principes fondamentaux de la désignation et de la géoconservation d'un site, y compris de permettre aux processus naturels de s'épanouir sur une côte en érosion où une propriété était menacée, ont été confirmés par un tribunal (Prosser, 2011). Très souvent, les solutions fondées sur la nature ou les solutions « douces » intermédiaires, comme le réaligement géré, ont des bénéfices supplémentaires de réduction des risques de dangers naturels comme l'érosion côtière, les inondations, les glissements de terrain et l'érosion des sols, et les impacts du changement climatique. Dans d'autres cas, la relocalisation d'activités ou d'infrastructures, déplacées de la côte vers l'intérieur des terres, peut être la seule option économiquement intéressante.



Photo 6.20 Les plantes spécialistes, appelées extrémophiles, s'épanouissent grâce aux cocktails chimiques chauds émanant des zones géothermiques souterraines. Lac du Parc national de Manyara, République unie de Tanzanie. © Roger Crofts

Lorsqu'une certaine forme de protection est nécessaire pour protéger les intérêts du capital (par ex. des infrastructures essentielles) et lorsque l'espace le permet ou peut être créé, les formes « naturelles » d'intervention doivent être la première option choisie (voir ci-dessus exemples de gestion des cours d'eau et des côtes).

Tableau 6.4 Exemple de liens entre géodiversité et biodiversité

Interdépendance géodiversité/ biodiversité	Exemples :
Plantes spécialistes reflétant la chimie des roches et de l'eau	Source prismatique géante, Parc national de Yellowstone, États-Unis ; vallée volcanique de Waimangu, Rotorua, Nouvelle-Zélande.
Niches pour animaux dans les rochers	Réserve de conservation du karst de Jenolan, Australie ; Parc national du Désert blanc, Égypte ; Parc national des Galapagos, Équateur.
Nouveaux habitats liés aux terres émergentes issues de la fonte des glaciers et de l'élévation des terres associée	Site du patrimoine mondial de Kvarken, Finlande ; Skeidarásandur, Parc national de Vatnajökull, Islande.
Strates rocheuses significatives pour retracer l'évolution biologique	Schistes de Burgess, Parc national de Yoho, Colombie-Britannique, Canada ; Falaises fossilifères de Joggins, Nouvelle-Écosse, Canada.
Écosystèmes totalement dépendants d'une offre adéquate d'eau et de nutriments	Réserve de Shaumari, Jordanie, pour la réintroduction de l'oryx d'Arabie. Site d'intérêt scientifique spécial de Flow Country, Écosse. Formation d'une tourbière pour les habitats et la protection des oiseaux.

Source : Crofts, 2019.



Photo 6.21 De nombreuses espèces de chauves-souris s'abritent dans les grottes. Dans les zones tempérées, les grottes sont souvent utilisées comme des terriers d'hibernation en hiver. Grotte de Gufo dans les montagnes du Jinfoshan, partie du patrimoine mondial des Karst de Chine du Sud. © John Gunn

Il sera possible d'empêcher la disparition ou d'atténuer la détérioration de certains sites spécifiques, mais dans d'autres cas il sera peut-être nécessaire d'accepter la perte ou la détérioration des caractéristiques d'intérêts. Dans le dernier cas, il pourra être approprié de mettre en œuvre un document détaillé pour la postérité, ou de réhabiliter des caractéristiques particulières, comme les fossiles, pour une conservation dans les collections de musées ou les archives ex situ. Les mesures d'atténuation peuvent inclure l'enfouissement de certains sites pour protéger les intérêts finis très vulnérables. Dans d'autres cas exceptionnels, la construction de défenses lourdes pour protéger certaines caractéristiques uniques pourra être envisagée. Dans le cas des sites d'exposition, l'excavation de sections de remplacement pourra être approprié.

À l'échelle du paysage, il sera impossible d'empêcher des changements à grande échelle dans les processus géomorphologiques. L'approche la plus appropriée et la plus intéressante économiquement serait de permettre aux processus géomorphologiques actifs de s'adapter naturellement aux conditions climatiques changeantes. Il faudra peut-être pour cela créer de la place (par ex. en supprimant les berges inondables pour permettre aux cours d'eau d'utiliser pleinement leurs plaines d'inondation), et gérer les conséquences du changement (par ex. adapter les frontières du site) plutôt que d'essayer de stabiliser et de contrôler le système actif.

Le suivi des changements sur les sites et leurs caractéristiques d'intérêt est une partie fondamentale du

processus de gestion pour permettre de décider à quel moment l'intervention est nécessaire, et le type d'intervention nécessaire. Des mesures plus générales incluent la communication avec les autorités en charge de la planification et les communautés locales, afin d'intégrer la géoconservation dans les stratégies et plans d'adaptation au changement climatique plus larges.

Recommandations résumées pour gérer les effets du changement climatique :

- Réaliser une évaluation des risques des sites vulnérables ;
- Adopter des solutions fondées sur la nature et permettre aux processus géomorphologiques actifs de s'adapter naturellement aux conditions climatiques changeantes ;
- Réévaluer les frontières de l'aire protégée lorsque nécessaire ;
- Identifier les mesures d'atténuation ou les expositions de remplacement potentielles pour les sites à risques élevés ;
- Mettre en place un enregistrement pour la postérité et, lorsqu'approprié, réhabiliter certaines caractéristiques particulières comme les fossiles pour la conservation dans les collections des musées ;
- Surveiller les changements pour renseigner la prise de décision ; et
- Communiquer avec les autorités en charge de la planification et les communautés locales afin d'intégrer la géoconservation dans les stratégies et plans d'adaptation au changement climatique plus larges.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°18 :

Adopter une approche en plusieurs étapes pour répondre aux menaces qui pèsent sur le géopatrimoine, comme l'identification du type de menace, la sensibilité d'un site à la menace, l'évaluation des risques et la priorisation des actions de gestion.

6.5 Gérer l'interaction entre la conservation de la géodiversité et de la biodiversité (6.5)

La géodiversité soutient une diversité d'habitats sur une vaste gamme d'échelles temporelles et spatiales (Tableau 6.4). À l'échelle mondiale, par ex., les études montrent que les centres de diversité des plantes vasculaires coïncident avec les zones montagneuses dans les tropiques et sous-tropiques humides, avec une forte géodiversité (Barthlott et al., 2005). À l'échelle régionale et locale, la géodiversité soutient une hétérogénéité d'habitats, issues des caractéristiques du substrat physique, des propriétés et de la stabilité des sols, des processus et reliefs géomorphologiques, des effets topographiques sur le microclimat, de la disponibilité en eau et des régimes de perturbation liés aux processus continus et épisodiques. En conséquence, la diversité de l'habitat et la richesse en espèces sont souvent plus importantes dans les zones à hétérogénéité géologique et géomorphologique élevée (par ex. Tukiainen et al., 2019).

La géoconservation dans les aires protégées est donc cruciale pour soutenir les espèces vivantes et leurs habitats, afin de maintenir l'implantation ou la « scène » mais aussi les processus naturels (par ex. inondations, érosion et dépôts) nécessaires à la diversité de l'habitat et les fonctions écologiques. C'est particulièrement important pour la conception et la gestion des aires protégées dans un contexte de changement climatique, car la géodiversité peut fournir une certaine résilience et permettre la sauvegarde d'espèces en rendant disponibles des mosaïques environnementales, des couloirs et des spectres d'altitudes, qui offrent divers macro et micro-refuges.

Lorsque les espèces et les communautés sont susceptibles de changer, les réseaux solides d'aires protégées qui sont fondés sur la conservation de paysages géodivers et hétérogènes doivent aider à optimiser la résilience et la capacité adaptative de la biodiversité et des principaux processus écosystémiques dans le cadre du climat actuel et futur (Anderson et al., 2014 ; Comer et al., 2015 ; Knudson et al., 2018). Ainsi, intégrer la conservation de la géodiversité et de la biodiversité est vitale, pas seulement pour développer des réseaux d'aires protégées représentatifs de différents écosystèmes et habitats, mais aussi pour soutenir la gestion de la biodiversité dans les aires protégées individuelles.

Les interactions entre la conservation de la géodiversité et de la biodiversité peuvent être positives et négatives (Crofts & Gordon, 2020 ; Crofts, 2019 ; Tableau 6.4). Des interactions positives ont lieu lorsqu'il y a convergence des intérêts de la biodiversité et de la géodiversité, comme dans les systèmes dynamiques de côtes et cours d'eau, avec de

fortes interdépendances entre la végétation et les processus géomorphologiques, ou lorsque la géodiversité offre les bases pour la biodiversité. Des interactions négatives ont lieu lorsque l'intérêt du géopatrimoine est plus réduit et qu'il n'est pas fonctionnellement dépendant de la biodiversité, comme les expositions rocheuses illustrant l'histoire géologique d'une zone, ou des formations rocheuses délicates et des reliefs associés à des zones karstiques ou glaciaires. Le rocher ou les caractéristiques peuvent fournir un habitat précieux, cependant la croissance de la végétation peut bloquer la visibilité ou l'accès aux caractéristiques géologiques dans des situations où la principale exigence de géoconservation est de maintenir leur visibilité. De telles interactions négatives doivent être reconnues, et des solutions trouvées par les gestionnaires d'aires protégées (Encadré 6.3). L'essence de la résolution doit être de reconnaître les interconnexions entre les caractéristiques biotiques et abiotiques, et entre les processus qui les font naître et ceux qui les maintiennent.

Les principales questions sont :

- Sur quoi se base le conflit entre la conservation du géopatrimoine et les valeurs de la biodiversité dans et autour de l'aire protégée ?
- Le conflit peut-il être résolu sans porter atteinte à un ou plusieurs ensembles de valeurs, ou est-il plus fondamental ?
- Dans ce cas, l'un des ensembles de valeurs est-il plus important sur le long terme pour la conservation de la nature, et doit-il être préservé et l'autre sacrifié ?
- L'intérêt de géodiversité doit-il être retiré du site, ou autorisé à être dissimulé par la croissance de la végétation, à condition qu'il puisse être périodiquement réexposé pour réexamen à la lumière de nouvelles connaissances ?
- La seule résolution possible est-elle au-delà de l'aire protégée et au sein de la biorégion ?

Enfin, il est important de décourager les tentatives de maximiser la diversité des habitats/espèces par des modifications du paysage ou une restauration qui entraînerait la création de reliefs/paysages incongrus (par ex. l'élévation de la surface du sol par le remblaiement dans des zones plates, ou la création d'étangs avec des formes atypiques des caractéristiques naturelles locales).

Ligne directrice des meilleures pratiques n°19 :

Reconnaître les interrelations positives et négatives entre la conservation de la biodiversité et de la géodiversité pour offrir le meilleur résultat possible à la conservation de la nature.

La gestion de la géoconservation dans certaines situations

7



A unique combination of geothermal activity and glaciation given enhanced protection in 2020 at Kerlingarfjöll Nature Reserve and Landscape Protected Area, Iceland. © Roger Crofts

Des conseils détaillés sont fournis pour la gestion des aires protégées et conservées :

- Grottes et zones karstiques (7.1)
- Zones glaciaires et périglaciaires (7.2)
- Sites minéraux et paléontologiques (7.3)
- Zones volcaniques (7.4).

Des conseils pour la gestion de types particuliers d'intérêts du géopatrimoine dans les aires protégées et conservées sont donnés pour les grottes et paysages et caractéristiques karstiques, les caractéristiques glaciaires et périglaciaires, les sites minéraux et paléontologiques, et les sites volcaniques. Pour chacun de ces quatre types de géopatrimoine, des informations sont fournies sur les reliefs, les processus et caractéristiques, les menaces, et les principes et lignes directrices de gestion. Ces quatre milieux sont choisis pour représenter la gamme de types de sites présentés dans la Section 5.3, et pour illustrer les types d'approches de gestion requises. La section sur les zones glaciaires et périglaciaires illustre les trois types de sites (sites d'exposition, d'intégrité, finis), alors que les sections sur les grottes et zones karstiques, et sur les minéraux et les fossiles, illustrent respectivement les sites d'intégrité et finis.

7.1 Gérer les grottes et zones karstiques protégées et conservées

Reliefs, processus et caractéristiques de valeur

Certains des paysages les plus impressionnants sur Terre sont situés dans des zones karstiques où les reliefs incluent souvent des cours d'eau enfouis, des reculées et vallées sèches, des dépressions fermées, un drainage et des cavités souterraines. Ils sont souvent le produit d'un processus appelé *dissolution*, qui agit sur les roches ayant une solubilité élevée dans des eaux naturelles (voir Photo 3.1). La solubilité seule ne garantit pas qu'un système karstique évoluera. D'autres processus, notamment l'érosion et l'effondrement mécanique, contribuent au développement du relief karstique, mais la dissolution est un prélude essentiel. Deux groupes de roches sont reconnus comme karstifiables : les roches carbonatées (calcaire, dolomie et marbre) et les roches évaporitiques (gypse, anhydrite, et sel). Les affleurements en surface et près de la surface de ces roches occupent environ 20% de la surface terrestre émergée. Ici, l'accent est mis sur le karst carbonaté, mais de nombreuses menaces, principes et lignes directrices de gestion s'appliquent aussi au karst évaporitique.

Une grotte est une cavité naturellement formée dans une matière terrestre et qui est suffisamment large pour permettre à l'humain d'y entrer. Cette définition différencie les grottes des tunnels et autres vides souterrains construits artificiellement, qui sont parfois incorrectement dénommés « grottes ». On trouve les grottes dans de nombreuses lithologies et paysages, mais la plupart sont formées par la dissolution de roches carbonatées. On trouve également des grottes formées par dissolution dans les roches évaporitiques et, plus rarement, silicatées. Il existe aussi un

nombre assez important de grottes volcaniques (également appelées grottes de lave). Ici, seules les grottes de paysages karstiques sont étudiées.

Un paysage karstique en surface bien développé dépend du développement d'un drainage souterrain. Dans les roches carbonatées, les eaux souterraines s'écoulent dans des canaux élargis par la dissolution.

Lorsque le diamètre du canal devient suffisamment large pour laisser passer des eaux turbulentes, on parle alors de « conduit » ; lorsque ces conduits deviennent suffisamment larges pour l'accès humain on les appelle « grottes ».

Le développement des paysages karstiques est lié au flux de l'eau sur, dans, au travers et hors des roches présentant une solubilité élevée. Ainsi, les reliefs karstiques peuvent être globalement affectés à des rôles d'entrée, de traitement et de sortie (Williams, 2008). Les livres de Ford & Williams (2007), Gillieson (1996), Gunn (2004), Palmer (2007) et White & Culver (2012) donnent plus de détails.

Les dépressions fermées drainées intérieurement (dolines et poljés à fond plat) sont les reliefs de surface les plus typiquement karstiques. Elles ont une fonction similaire dans le bassin versant, car elles canalisent l'eau, les solutés et les sédiments vers un ou des points de sortie souterrains. Une caractéristique distinctive importante du karst est que l'eau s'y écoule à des vitesses bien plus rapides que dans les réseaux souterrains non-karstiques habituels. Les sédiments et composés polluants peuvent être transférés sur de longues distances très rapidement. Une autre caractéristique distinctive est que la plupart des zones karstiques ont une zone de dissolution accrue, et donc de perméabilité, dans le fond rocher le plus élevé. Du fait de l'échelle et de la vitesse de ces processus, la gestion des grottes et du karst en tant que sites protégés est assez différente des autres types de géopatrimoine.

La majorité des grottes karstiques sont formées par de l'eau descendant de la surface terrestre, mais certaines ont été formées par la remontée d'eaux souterraines. Les passages des grottes peuvent être actifs (élargissement en cours par l'eau qui s'écoule) ou inactifs (pas de flux d'eau permanent). Le nombre global de grottes karstiques et l'exploration de leur longueur et profondeur augmente tous les ans, et il est possible que les nouvelles découvertes faites hors d'aires protégées aient une valeur supérieure en termes de géopatrimoine que celles situées dans les zones précédemment désignées. Face à cela, il sera peut-être nécessaire de désigner de nouvelles aires protégées, ou de réévaluer les frontières des aires existantes.



Photo 7.1 L'entrée de la grotte de Hang Son Doong, Parc national de Phong Nha-Kẻ, Vietnam, a été explorée et étudiée pour la première fois en 2009, et est en 2020 la plus grande galerie souterraine en volume au monde (5000m x 145m x 200m). © Dave Bunnel



Photo 7.2 Spéléothèmes intacts (stalactites, stalagmites et coulées stalagmitiques) dans la grotte de Wild Boar, Parc national et site du patrimoine mondial de Mulu, Sarawak, Malaisie. © John Gunn

Dans certaines zones karstiques, aucun des conduits n'atteint une taille suffisante pour être accessible par les humains. Il peut donc y avoir des karsts de surface avec des reliefs distinctifs et des eaux souterraines rapides s'écoulant par des conduits, mais pas de grottes. À l'opposé, dans certaines zones où les roches karstifiables n'affleurent pas (et donc où il n'y a pas de relief karstique en surface), les eaux souterraines qui circulent en profondeur à travers des roches carbonatées ou évaporitiques forment des canaux, des conduits, et parfois, des grottes. Il est donc essentiel de réaliser une étude complète de la zone avant de prendre une quelconque décision sur la protection.

Menaces

Environ 20-25% de la population mondiale dépend d'eau potable provenant de karst. On trouve une abondante littérature sur les menaces pesant sur les eaux souterraines dans ces zones (par ex. Drew & Hotzl, 1999 ; Kresic, 2013). Les eaux souterraines karstiques sont particulièrement sensibles : à la transmission des bactéries, provenant notamment de systèmes de traitement d'eaux mal conçus ; aux polluants, comme les pesticides et herbicides des terres agricoles ; aux hydrocarbures des routes et des installations de stockage de combustible ; et aux sédiments issus de l'agriculture, de l'industrie extractive, et du développement. Il y a également de nombreux exemples de prélèvement excessif d'eaux souterraines de karst, ce qui peut entraîner un affaissement ou un effondrement catastrophique (par ex. Veni et al., 2001). On constate un fort degré d'endémisme dans de nombreuses zones karstiques, et les menaces à la biodiversité calcaire, notamment à cause des carrières, sont étudiées par Vermeulen & Whitten (1999) et BirdLife et al. (2014). La formation de vides souterrains par dissolution des roches et la transmission souterraine rapide de sédiments par les eaux souterraines sont des caractéristiques distinctives des zones karstiques, et la menace posée aux infrastructures et au développement en surface a été fréquemment débattue (par ex. Waltham et al., 2005).

Les menaces à la géodiversité du karst sont moins étudiées, même si un grand nombre des menaces étudiées dans d'autres contextes impactent également les reliefs en surface et souterrains. Du fait de la variété des environnements karstiques et de la complexité tridimensionnelle intégrée du karst, les paysages karstiques dans les aires protégées sont souvent confrontés à des menaces spécifiques au site, comme l'extraction de roches. De même, une zone ayant une géodiversité de surface faible peut être située au-dessus de passages importants de grottes et de sédiments ayant une géodiversité précieuse. Ainsi, la présence potentielle de reliefs souterrains doit toujours être envisagée lors de l'évaluation de propositions de développement.

Le développement de grottes pour permettre l'accès de visiteurs peut entraîner des dommages significatifs aux caractéristiques d'intérêt scientifique. Toutefois, réalisé intelligemment, cela peut améliorer l'accès pour l'étude scientifique. Par ex., lors du développement de la grotte Poll an Ionain (Doolin), Irlande, le passage de la grotte existant a



Photo 7.3 Le puits géant (doline) de Dashiwei Tiankeng, qui mesure 600m de long, 420m de large et 613m de profondeur, dans le Géoparc mondial de Leye-Fengshan, Chine. © John Gunn

été élargi sélectivement afin de garder autant que possible la morphologie originale, et le nouveau passage a permis aux scientifiques de transporter l'équipement de carottage jusqu'à une chambre aux sédiments profonds, qui n'était auparavant accessible que par un passage bas et étroit.

Outre les impacts directs, tout changement dans le débit de l'eau, les sédiments ou le dioxyde de carbone, dans et à travers le karst, représente une menace potentielle à la géodiversité, par ex. le remblaiement ou l'enfouissement de caractéristiques par des sédiments modernes, ou des changements dans la chimie des eaux de percolation qui mettent fin aux dépôts de spéléothèmes. Les principales activités produisant de tels changements sont l'agriculture et la foresterie, l'industrie extractive, l'exploitation de l'eau, la construction/l'urbanisation, et le tourisme/activités récréatives. L'agriculture et la foresterie sont les activités humaines les plus fréquentes dans, et aux frontières, des aires protégées de karst, et elles ont toutes deux des impacts divers. Les changements à la végétation de surface, par ex. du fait d'un incendie, entraînent souvent une érosion des sols, et dans des cas extrêmes une désertification, ainsi qu'une réduction des concentrations de dioxyde de carbone dans le sol. L'exploitation de l'eau a souvent des impacts indirects sur la géodiversité, par ex. soit l'extraction de l'eau baisse l'élévation des eaux souterraines, soit les



Photo 7.4 La grotte de Gough dans le site d'intérêt scientifique spécial des Grottes de Cheddar, Somerset, Angleterre, est ouverte au public depuis plus de 100 ans. Malheureusement, un mauvais usage de l'éclairage a favorisé la prolifération d'une flore (« maladie verte ») dans de nombreuses parties de la grotte. Cette piscine est artificielle et contient des spéléothèmes rapportés d'autres parties de la grotte, et des pièces jetées par les visiteurs pour « faire un vœu ». © John Gunn

sédiments sont lavés dans les conduits. Voir Encadré 6.2 pour un exemple en Slovaquie.

Principes et lignes directrices de gestion

Les zones de karst sont protégées au niveau local, national ou international pour diverses raisons, et la géodiversité n'est souvent que l'une d'entre elles. Parfois, elle n'est même pas mentionnée. Cinq des 52 biens du patrimoine mondial par ex., identifiés par Williams (2008 et pers. Comm.) comme ayant des caractéristiques karstiques significatives à l'échelle internationale (dont deux avec des karsts de valeur universelle exceptionnelle, telle que définie par la Convention) ont été inscrits sur la Liste du patrimoine mondial uniquement du fait de leur intérêt culturel. Et on ne sait pas vraiment si la géodiversité est même protégée dans ces sites. De même, Gunn (2020) a identifié 151 Réserves de biosphère dans 62 pays (surface totale : 42 181 357 ha) et 124 sites Ramsar dans 55 pays (surface totale 4 766 652 ha) qui contiennent des eaux souterraines karstiques et très probablement aussi une géodiversité karstique importante. Même dans les Géoparcs mondiaux qui contiennent du karst, la conservation est souvent axée sur les grottes touristiques qui font l'objet d'une exploitation commerciale, avec peu voire aucune considération pour les besoins de gestion des autres grottes ou même, dans certains cas, pour la géodiversité karstique en général. *Ainsi, le principe le plus important dans la gestion des aires protégées karstiques est d'adopter une approche globale, qui prend en*

compte l'ensemble du réseau karstique. Cela comprend les reliefs de surface et souterrains, le réseau d'eau, la flore et la faune, ainsi que toute valeur spirituelle, religieuse et culturelle.

Des lignes directrices internationales pour la protection des grottes et des karsts ont été publiées par l'UICN (Watson et al., 1997), et Veni et al. (2001). Parmi les exemples de lignes directrices de meilleures pratiques pour la conservation des grottes et des karsts, à l'échelle régionale ou nationale, citons Prosser et al. (2006) pour l'Angleterre ; le Manuel de gestion du karst de 2003 pour la Colombie-Britannique, Canada, avec un module de formation en ligne relié (British Columbia, 2003 ; 2020) et les Lignes directrices du gouvernement de Tasmanie pour la protection et la gestion du karst (gouvernement de Tasmanie, non daté). De nombreuses associations de spéléologie publient des lignes directrices pour une spéléologie responsable ; par ex. l'Association de spéléologie britannique (non daté) et la Société nationale de spéléologie des États-Unis (2016). Woo & Kim (2018) donnent des exemples pour la Corée. Le tableau 7.1 expose les principales considérations de gestion.

7.2 Gérer les aires protégées et conservées glaciaires et périglaciaires

Reliefs, processus et caractéristiques de valeur

Les aires protégées glaciaires et périglaciaires (zones soumises alternativement au gel et dégel à haute altitude, ou près des limites du glacier) incluent une vaste gamme de caractéristiques

Tableau 7.1 Principales considérations pour la géoconservation des grottes et des karsts

GESTION DE SURFACE Dans une aire protégée karstique, toute activité prévue doit être évaluée afin de déterminer l'impact potentiel sur le flux de l'eau et de l'air (surtout les niveaux de dioxyde de carbone), qui sont les moteurs des processus karstiques.	
Bassin versant	De nombreuses zones karstiques reçoivent un important flux d'eau et de sédiments depuis les bassins versants adjacents non-karstiques, et les eaux souterraines dans le karst se déplacent souvent sous les bassins versants topographiques et peuvent suivre des voies convergentes et divergentes. Les bassins de karst sont souvent dynamiques, ils s'étendent et se contractent en fonction des précipitations. Il est donc essentiel que tout le bassin versant en karst de l'aire protégée existante ou proposée soit défini en utilisant des expériences répétées de traçage d'eau et une cartographie de la grotte. Dans les zones où le bassin versant s'étend au-delà de la zone abritant le géopatrimoine karstique de surface, les terres additionnelles doivent faire partie d'une zone tampon, ou bien il doit y avoir un plan intégré de gestion du bassin versant pour protéger en aval les caractéristiques d'intérêt karstiques.
Industrie extractive	Il doit y avoir un a priori général négatif vis-à-vis de l'industrie extractive dans les aires protégées karstiques, car il y a inévitablement une perte de la géodiversité et une modification des processus. Dans le cas de minéraux dont l'exploitation est nécessaire et qui ne peuvent être obtenus hors de l'aire protégée, les sites potentiels d'extraction doivent être évalués à l'échelle de leurs reliefs de surface et souterrains, et de leur connectivité hydrogéologique, afin d'identifier les zones d'« impact minimum ».
Construction à grande échelle	Des protocoles ont été mis en place pour réduire les risques que pose le karst pour la construction d'autoroutes et de chemins de fer, mais les risques pour le karst n'ont pas vraiment été étudiés. Lorsqu'il faut traverser des aires protégées, une cartographie du terrain de surface, des enquêtes spéléologiques, des études détaillées sur les grottes et des enquêtes hydrogéologiques sont essentielles pour identifier la route la moins préjudiciable. Les mesures propres au karst doivent inclure : une façon d'empêcher l'entrée directe dans les eaux souterraines de l'eau du ruissellement des routes, qui contient des hydrocarbures et des sédiments ; un scellage attentif des vides à la surface plutôt que le remblaiement avec des joints ; et un accès alternatif à toutes les grottes existantes.
Construction locale et accès	Des considérations similaires s'appliquent à la construction des routes locales et des sentiers de randonnée au sein des aires protégées karstiques, mais un contrôle plus appuyé doit être possible sur les routes. Réaliser une cartographie des grottes liée à la cartographie du terrain de surface est essentiel pour identifier les couloirs les moins préjudiciables. Pour les plus grands projets, des études géophysiques doivent être réalisées pour identifier les grands vides. Le drainage des routes et des sentiers doit être canalisé par des pièges à sédiments (et hydrocarbures), entretenus régulièrement.
Bâtiments	Tout nouveau bâtiment dans une aire protégée karstique, comme des centres pour visiteurs, requiert au préalable des études de surface et souterraines afin d'éviter la présence de constructions sur des caractéristiques souterraines.
Parking et transport des visiteurs	Lorsque possible, les parkings doivent être assez éloignés des reliefs de surface importants. Ils ne doivent jamais être situés au-dessus des grottes pour éviter les infiltrations et aussi parce que les parkings forment une sorte de plafond imperméable qui restreint l'infiltration de l'eau, et peut entraîner l'assèchement des grottes. Les véhicules électriques sont de plus en plus utilisés pour transporter les visiteurs depuis des grands parkings bien conçus jusqu'aux caractéristiques d'intérêt.
Production d'électricité et stockage du combustible	Les installations des visiteurs dans certaines aires protégées karstiques sont isolées et non-raccordées au réseau électrique. Lorsque possible, l'électricité doit être produite sur le site, en utilisant des unités éoliennes, hydrauliques ou solaires. Si les générateurs au diesel ne peuvent être évités, le combustible pour leur consommation et toute autre utilisation essentielle doit être stocké dans des endroits protégés construits à cet effet, et disposant de procédures pour éviter les fuites.
Approvisionnement en eau	Les zones karstiques sont caractérisées par un manque d'eau de surface, c'est pourquoi les eaux souterraines sont souvent exploitées pour pouvoir approvisionner en eau les populations humaines. La collecte de l'eau de percolation qui entre dans la grotte devrait avoir peu d'impact, cependant avant de prélever l'eau des cours d'eau des grottes, il faut établir (par un traçage de l'eau) d'où elle vient et où elle va. Des décisions renseignées peuvent alors être prises sur les impacts potentiels du prélèvement.
Eaux grises et traitement des eaux usées	Les eaux usées non-traitées ne doivent pas être déversées dans les zones karstiques, car cela entraînera une pollution qui aura potentiellement un impact sur les spéléothèmes, le biote de la grotte et les sources. Le transfert des eaux usées hors de la zone karstique peut perturber l'équilibre hydrique. Une bonne pratique est de traiter l'eau suivant une norme élevée avant de la déverser dans la zone karstique, à un endroit où il y a une recharge naturelle. Dans le Géoparc mondial des grottes de Marble Arch (Irlande) par ex., les eaux usées du centre de visiteurs passent par une petite usine de traitement sur place, et une eau traitée de haute qualité est ainsi déversée dans le cours d'eau de la grotte.
Plantes et animaux	Les zones calcaire, avec leurs sols riches en carbone, peuvent favoriser certaines espèces de plantes et produire ainsi une flore distincte. La géomorphologie du karst peut également influencer les assemblages floraux. Par ex., les dolines qui agissent comme puits d'air froid peuvent abriter une flore d'ordinaire caractéristique des altitudes plus élevées ou des climats passés plus froids. Les terrains karstiques sont également des niches écologiques pour les animaux en surface. La gestion des aires protégées karstiques pour le géopatrimoine doit toujours prendre en compte la flore et la faune, et vice versa.

GESTION SOUTERRAINE

Bassin versant	Il est essentiel de protéger l'ensemble du bassin versant, mais les grottes qui s'étendent profondément sous le terrain non-karstique présentent une difficulté particulière. Si l'absence de connectivité peut être établie entre la surface et la grotte, alors il ne sert à rien d'avoir une aire protégée au-dessus de l'empreinte de la grotte ; en revanche lorsqu'il y a une connectivité limitée, par ex. par le biais de dolines roche-couverture, il est alors important de protéger les reliefs de surface.
Accès des visiteurs	La grande majorité des grottes sont sous-développées d'un point de vue touristique, mais celles qui le sont reçoivent de nombreux visiteurs qui font de la spéléologie d'aventure, sans guide, et même de la plongée dans des grottes. Dans les aires protégées, un système de permis peut être nécessaire pour restreindre le nombre de visiteurs. Des portes fermées sont nécessaires pour protéger les caves possédant un riche géopatrimoine, ou une valeur biologique ou archéologique. Tous les visiteurs doivent s'engager à respecter un code de conduite pour une spéléologie ayant un impact minimum, et dans les grottes très fréquentées, des chemins préférés doivent être clairement (mais discrètement) marqués.
Zones au sein des grottes	Les études des grottes dans les aires protégées doivent inclure des détails sur le géopatrimoine afin de faciliter la gestion par zonage. Les sections de la grotte qui conviennent le mieux à l'accès des visiteurs doivent être identifiées, ainsi que les zones où des restrictions d'accès doivent s'appliquer du fait de spéléothèmes exceptionnels, de dépôts de sédiments ou archéologiques, ou de concentrations élevées de gaz dangereux, comme le dioxyde de carbone ou le radon.
Grottes touristiques existantes	De nombreuses grottes touristiques ont été développées avant d'être désignées comme aires protégées et, malheureusement, des dommages importants ont été portés à l'intérêt du géopatrimoine de certaines, du fait de la destruction de sédiments et de spéléothèmes pour construire des sentiers, de l'introduction de matériel organique et du développement de la « maladie verte » (algues, mousses et plantes qui poussent du fait de la lumière artificielle). Un nombre élevé de visiteurs peut également accroître les concentrations de dioxyde de carbone à des niveaux qui entraînent la dissolution des spéléothèmes. Les grottes touristiques dans les aires protégées doivent être évaluées, et un plan de gestion doit être mis en place pour restaurer les caractéristiques d'intérêt lorsque possible, afin d'empêcher tout dommage futur éventuel. Par ex., il convient de remplacer les vieux systèmes d'éclairage par des LED modernes. Pour plus de précisions, voir ISCA (2014).
Développement de nouvelles grottes touristiques	Les grottes touristiques sont souvent une importante source de revenus pour une aire protégée, et il peut y avoir une pression pour ouvrir de nouvelles grottes. Cela ne doit être permis que lorsque la demande est avérée, et qu'une grotte convenable est identifiée. Un plan de développement doit être élaboré avec le soutien de spéléologues expérimentés, afin de minimiser les dommages à la morphologie du passage, aux spéléothèmes et aux sédiments. Des censeurs doivent être installés pour permettre un suivi en temps réel de la qualité de l'air.
Nettoyage des grottes	Toutes les grottes touristiques n'ont pas besoin du même nettoyage, mais les exigences les plus fréquentes sont : la suppression des accumulations de peluches et de résidus humains issus des visiteurs, et le contrôle de la flore proliférant avec l'éclairage (maladie verte). Lorsque possible, il est préférable d'utiliser de l'eau issue de la grotte, et l'eau chaude à haute pression ne doit être utilisée que si les autres options n'ont pas donné de résultats probants. Enfin, la maladie verte est mieux contrôlée en réduisant l'éclairage et en utilisant des lumières LED, mais une solution de 5% d'hypochlorite de sodium peut être utilisée pour nettoyer la mousse existante, à condition d'éviter que cette solution ne s'écoule dans les cours d'eau de la grotte.
Toilettes dans les grottes	Il convient d'avertir clairement les visiteurs où se trouve leur dernier arrêt toilettes avant d'entrer dans la grotte. Il doit y avoir un a priori négatif sur la présence de toilettes dans une grotte, même s'ils peuvent être nécessaires dans les grandes grottes touristiques où les visiteurs sont sous terre pendant plus d'une heure. Les toilettes modernes sont conçus pour minimiser les déchets, mais il convient de faire particulièrement attention au vidage et au nettoyage pour éviter toute pollution.
Faune dans les grottes	Les grottes sont des sites de nichage fréquents pour diverses espèces de chauves-souris. Le guano des chauves-souris est particulièrement important pour certaines espèces invertébrées de décomposeurs qui habitent ces écosystèmes. Par le passé, la valeur du guano a souvent été sous-évaluée alors que c'est un excellent fertilisant ; en conséquence certaines grottes ont eu besoin d'être restaurées. D'autres espèces comme les oiseaux, les serpents, les mammifères et les amphibiens habitent l'entrée des grottes et la zone toute proche, et doivent être protégées. Certaines espèces de faune habitent dans les profondeurs des grottes, et évoluent sans lumière.

Source : Compilé de diverses sources, notamment Watson et al. (1997).

actives (modernes) et inactives (ancien Quaternaire). Les milieux glaciaires modernes associés, par ex., avec les inlandsis (nappes de glace) dans l'Antarctique et le Groenland ; les calottes glaciaires et champs de glace en Patagonie, Alaska (États-Unis) et Islande ; et les glaciers de montagne dans les Alpes, l'Himalaya, les Rocheuses et les îles sous-Antarctique, comprennent des assemblages dérivés d'une combinaison

variable de processus glaciaires, lacustres, fluviaux et marins. Dans ces zones, il y a également des assemblages de reliefs et de dépôts inactifs, qui témoignent des changements glaciaires sur le plus long terme, à des échelles de temps allant de dizaines, centaines et même milliers d'années (Kiernan, 1996 ; Benn & Evans, 2010). Les aires protégées qui représentent ces types glaciaires sont souvent de grande taille, et incluent la



Photo 7.5 Le glacier et les moraines de Nigardsbreen, très accessibles, sont un bras du glacier de Jostedal, la plus grande calotte glaciaire d'Europe continentale. Le site est situé dans la Réserve de nature de Nigardsbreen, qui fait partie du Parc national de Jostedalsbreen, Norvège. © José Brilha



Photo 7.6 Une zone récemment dégelée par le retrait du glacier Stanley est aujourd'hui soumise à des processus périglaciaires, Parc national de Kootenay, Canada. © Parks Canada, Zoya Lynch

plupart des paysages et des réserves de biodiversité les plus spectaculaires et importants au monde (par ex. Parc national de Sagarmatha (mont Everest), Népal ; Parc national d'Aoraki/ mont Cook, Nouvelle-Zélande ; Parc national de Los Glaciares, Argentine ; Parc national Torres del Paine, Chili ; Parc national Glacier, États-Unis ; Parc national du nord-est du Groenland, Danemark ; Parc national de Vatnajökull, Islande ; Parc national de Jotunheimen, Norvège ; et Parc national de Sarek, Suède). Elles comprennent toujours des complexes de paysages et de systèmes géomorphologiques dynamiques à différentes échelles.

Les milieux glaciaires inactifs comprennent des reliefs et des dépôts formés principalement pendant les glaciations du Quaternaire des dernières 2,6 millions d'années. On les trouve sur une vaste zone d'Amérique du Nord et d'Eurasie de latitudes moyennes, ainsi que dans les avant-pays et vallées basses de l'inlandsis actuel et des systèmes de glaciers montagneux (Ehlers et al., 2011). Les aires protégées varient en taille, depuis une échelle de paysage avec une forte géodiversité (par ex. la Zone de nature sauvage du patrimoine mondial de Tasmanie, Australie, et le Parc national de Lake District et Cairngorms, Royaume-Uni) jusqu'à des petits géosites (<1km²) qui abritent des témoignages stratigraphiques exceptionnels ou représentatifs de la glaciation du Quaternaire et du changement de l'environnement, souvent exposés par l'érosion des côtes ou des cours d'eau. Lorsque les expositions naturelles sont rares, les carrières actives et inactives offrent souvent une ressource hautement valorisée pour leurs expositions de l'histoire sédimentaire.

De même, les milieux périglaciaires incluent des reliefs actifs et inactifs, et des dépôts formés par des processus de climat froid et non-glaciaire (Ballantyne, 2018). Les premiers sont répandus dans les sols sans glaciers, dans les zones polaires et de haute montagne, et également dans des montagnes de plus faible altitude des latitudes moyennes et basses qui n'ont plus de glaciers, ou alors que des petits glaciers. Les caractéristiques périglaciaires inactives sont également présentes à plus faible altitude dans les mêmes zones, et dans les zones de faible altitude des latitudes moyennes, notamment celles de l'hémisphère nord, qui se trouvent hors des limites des nappes de glace du Quaternaire.

Les aires protégées glaciaires et périglaciaires ont une valeur de géopatrimoine élevée, et ce pour diverses raisons. Elles sont importantes pour la recherche scientifique et la compréhension de la dynamique des glaciers, des changements climatiques passés enregistrés dans les carottes de glace, des reliefs et dépôts glaciaires et périglaciaires, et des lacs glaciaires et dépôts marins. Ces connaissances sont indispensables pour avoir une idée des réponses dynamiques futures éventuelles des inlandsis (nappes de glace) d'Antarctique et du Groenland face au réchauffement mondial. Les reliefs et sols glaciaires et périglaciaires fournissent le soutien physique, ou « scène », pour la biodiversité sur des grandes zones des latitudes élevées et moyennes, et dans les milieux montagneux du monde, à des échelles allant de chaînes de montagnes entières à des mosaïques d'habitats sur des pentes montagneuses individuelles.

De nombreuses aires protégées glaciaires et périglaciaires ont également une valeur significative pour le tourisme, les activités récréatives et touristiques, les associations de patrimoine culturel (par ex. folklore et légendes, et en tant que symboles nationaux), l'esthétisme du paysage, et en tant que sources d'inspiration pour l'art et la littérature (Kiernan, 1996 ; Gordon, 2018). En outre, elles sont d'importantes sources d'eau pour les zones adjacentes à faible altitude, et pour la production d'hydroélectricité.

Menaces

Toutes les menaces présentées dans le Tableau 6.2 s'appliquent potentiellement aux intérêts du géopatrimoine dans les aires protégées glaciaires et périglaciaires (Tableau 7.2). Les principaux impacts sont :

- Destruction totale ou partielle des reliefs et des expositions de sédiments ;
- Fragmentation de l'intégrité du site et perte de la relation entre les caractéristiques, surtout lorsque l'intérêt du site se trouve dans les assemblages de reliefs ;
- Perturbation des processus géomorphologiques ;
- Perte de l'accès aux reliefs ou expositions de sédiments ; et
- Perte de la visibilité des principales caractéristiques (par ex. du fait de la croissance de la végétation, ou de l'accumulation de talus devant les expositions de sédiments).

Les aires protégées de grande taille à l'échelle du paysage auront tendance, globalement, à être relativement solides face au développement et aux menaces de petite ampleur, même si on peut s'inquiéter de la perte de l'intégrité et du caractère naturel, et du risque de dommages significatifs ou de la destruction de caractéristiques spécifiques de valeur exceptionnelle pour faciliter le développement, comme lors de la construction d'infrastructures de ski (Reynard, 2009a) ou lors du nivellement de la surface d'un glacier rocheux pour créer des pistes de ski (Lambiel & Reynard, 2003). C'est pour cette raison qu'il est essentiel de documenter correctement les intérêts du géopatrimoine, et d'évaluer leur sensibilité et les impacts de tout projet de développement. Les petits géosites sont en général plus sensibles au développement et aux menaces, et souvent avec moins de marge de manœuvre pour éviter ou atténuer les impacts, selon les caractéristiques du site. Là encore, il est essentiel de documenter correctement les caractéristiques d'intérêt, et d'évaluer leur sensibilité et les impacts de tout projet de développement.

Principes et lignes directrices de gestion des sites

Les principes généraux suivants s'appliquent, suite à la classification des sites du Tableau 5.2 :

- Sites d'intégrité / Caractéristiques statiques - Protéger l'intégrité physique de la ressource, et empêcher la fragmentation (par ex. par les carrières, la construction de pistes), afin que les relations entre les caractéristiques soient évidentes (par ex. entre les eskers et les canaux d'eau de fonte) ;
- Sites /caractéristiques géomorphologiques actifs - Maintenir les processus naturels et les capacités des processus naturels à évoluer naturellement ;



Photo 7.7 Un cercle à la forme parfaite, formé de pierres formées par le soulèvement dû au gel, Kvadehuksletta, Parc national de Nordaust-Spitsbergen, Svalbard, Norvège. Ces reliefs sont extrêmement fragiles au piétinement humain. © Roger Crofts

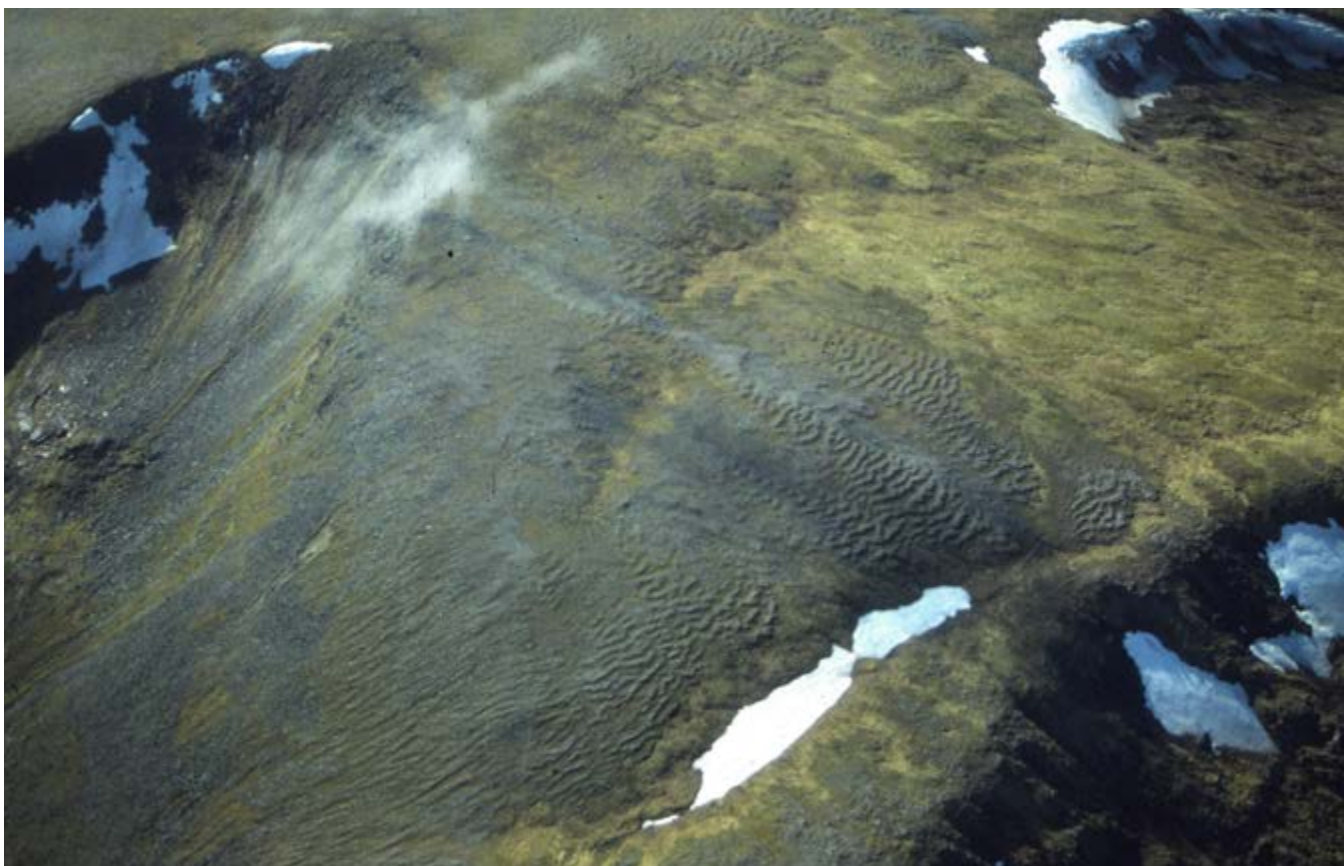


Photo 7.8 Les lobes et terrasses périglaciaires causés par le mouvement de glissement des pentes, issus de l'alternance de gel et de dégel du sol, sont des reliefs très fragiles qui sont facilement endommagés par le surpâturage ou les véhicules à roues. Site d'intérêt scientifique spécial de Fannich Hills, Écosse. © Roger Crofts



Photo 7.9 Suite de reliefs glaciaires au museau du glacier de Battybreen dans le Parc national de Nordre Isfjorden, Svalbard, Norvège. Du fait de l'éloignement, ils ne seront probablement pas perturbés malgré la menace potentielle du développement de petites croisières d'expédition et de l'utilisation de bateaux rapides qui permettent d'accéder à des endroits isolés dans les eaux de Svalbard. © Roger Crofts

Encadré 7.1

Étude de cas de restauration - Site d'intérêt scientifique spécial de la carrière de Pitstone, Buckinghamshire, Royaume-Uni

Le site d'intérêt scientifique spécial (SISS) de la carrière de Pitstone est un bon exemple de l'intégration de la conservation du géopatrimoine et de la biodiversité, dans le cadre de la restauration planifiée d'un ancien site d'extraction de minéraux. Ce site est un témoignage de deux épisodes interglaciaires, d'un épisode froid intermédiaire, et de caractéristiques périglaciaires où des vestiges de plantes et d'animaux indiquent les changements des milieux et des processus. Le site est une ancienne carrière de craie partiellement inondée, aujourd'hui gérée comme réserve de nature locale par une ONG environnementale locale. Certains des principaux dépôts du Quaternaire sont actuellement dissimulés par la végétation et des talus. Dans le cadre d'un plan intégré de gestion du site, les propriétaires du site, en partenariat avec des géologues locaux, vont : réaliser des opérations de défrichage de la végétation ; excaver une récente exposition de démonstration dans les dépôts périglaciaires ; développer de nouvelles ressources éducatives et d'interprétation sur le géopatrimoine ; et améliorer l'accès aux visiteurs et aux chercheurs. La photographie à point fixe sera utilisée pour surveiller les conditions du site, ce qui aidera à renseigner la gestion de sa future géoconservation.



Photo 7.10 Les principaux dépôts du Quaternaire de la carrière de Pitstone se manifestent au-dessus de la façade en craie dégradée, sur le côté droit de l'image. © Eleanor Brown, Natural England

Tableau 7.2 Principales menaces et exigences de gestion de la conservation pour différentes catégories de sites glaciaires et périglaciaires

Code de conservation des sciences de la Terre	Type de site	Caractéristiques d'intérêt typiques	Principales menaces	Gestion indicative de la conservation
Sites d'exposition ou extensifs	Carrières et mines actives	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Accès restreint pour les études scientifiques : stockage des déchets de carrières ; remblai contre les expositions ; surextraction, ne laissant aucune réserve de dépôts non-creusés pour les recherches futures : restauration et/ou développement après exploitation	Consulter les exploitants de la carrière pour sécuriser l'accès à des fins d'étude scientifique ; consulter les autorités de planification et l'exploitation de la carrière pour inclure les exigences de géoconservation pendant et après la durée de vie de la carrière (avec des plans pour le suivi et l'enregistrement géologique, et la rétention des sections de conservation et l'accès dans le cadre du plan de restauration)
	Carrières et mines inactives	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Enfouissement ; restauration inappropriée ; développement inapproprié ; dégradation des expositions ; empiètement de la végétation	Négocier des sections de conservation à long terme et sécuriser l'accès ; restreindre le développement aux zones non-essentiels ; gérer l'empiètement de la végétation ; excaver de nouveau des sections pour les études de recherche lorsqu'il n'est pas pratique ou nécessaire de maintenir des expositions continues
	Expositions de falaises côtières et estran	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Protection côtière ; dragage ; dégradation des expositions non-maintenues par l'érosion côtière ; empiètement de la végétation ; développement des ports intérieur, extérieur et marinas	Maintenir les processus naturels (érosion) ; sécuriser l'accès ; éviter l'installation de protections côtières en ingénierie « lourde » ; éviter le développement devant les falaises et l'intérieur des terres qui pourrait requérir une protection côtière future ; sur les côtes d'érosion non-actives, gérer l'empiètement de la végétation et excaver de nouveau des sections pour les études de recherche tel que nécessaire
	Expositions de cours d'eau et courants	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Ingénierie des cours d'eau et stabilisation des berges ; dégradation des expositions non-maintenues par l'érosion des cours d'eau ; empiètement de la végétation	Maintenir les processus naturels ; sécuriser l'accès ; éviter l'installation de protection des berges en ingénierie « lourde » ; éviter le développement dans les plaines d'inondation adjacentes qui pourrait requérir une protection « lourde » future ; sur les expositions s'érodant de façon non-active, gérer l'empiètement de la végétation et excaver de nouveau des sections pour les études de recherche tel que nécessaire
	Intérêt enfoui important	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Pratiques agricoles et d'utilisation des terres inappropriées (par ex. drainage de tourbières) ; boisement ; développement au-dessus de caractéristiques enfouies ; carrières	Éviter les activités inappropriées dans les zones clés, afin qu'elles restent intactes et accessibles pour la recherche scientifique
	Tracés de routes, voies de chemins de fer et canaux	Expositions dans les dépôts glaciaires, périglaciaires et autres du Quaternaire	Stabilisation et classification des expositions ; empiètement de la végétation ; plantage d'arbres ; élargissement de routes ; développement dans des tracés inutilisés	Éviter les solutions d'ingénierie « lourde », comme recouvrir des expositions de béton ; gérer l'empiètement de la végétation et excaver de nouveau des sections pour la recherche ; inclure des sections de conservation et sécuriser l'accès dans la conception finale des nouveaux tracés

Code de conservation des sciences de la Terre	Type de site	Caractéristiques d'intérêt typiques	Principales menaces	Gestion indicative de la conservation
Sites d'intégrité	Caractéristiques géomorphologiques statiques (inactives)	Reliefs et assemblages de reliefs glaciaires et péri-glaciaires	<p>Extraction de minéraux ; urbanisation, développement industriel et commercial ; barrages ; boisement ; empiètement de la végétation ; activités récréatives inappropriées (par ex. modification de la surface du sol pour des parcours de golf) ; pratiques d'utilisation des terres et agricoles inappropriées (par ex. remblaiement de kettles naturels, construction de sentiers)</p> <p>Pour les caractéristiques off-shore : fermes éoliennes et production d'énergie, et infrastructures associées ; dragage ; chalutage</p>	<p>Maintenir l'intégrité des reliefs et des assemblages de reliefs ; éviter les carrières et le développement ; éviter le boisement, les décharges et le remblaiement de dépressions ; gérer l'empiètement de la végétation ; éviter les activités récréatives inappropriées</p> <p>Pour les caractéristiques off-shore : éviter les constructions qui perturbent les fonds marins</p>
	Systèmes actifs de processus géomorphologiques	Processus glaciaires et périglaciaires et reliefs en formation active	Développement (par ex. infrastructures et installations de ski) ; réponses d'ingénierie « lourdes » face à l'atténuation des risques dans les zones touristiques et les établissements et infrastructures en aval ; ingénierie hydraulique et barrages	Maintenir les processus naturels ; placer les constructions loin des processus actifs et dans les zones à faible risque ; ré-orienter les sentiers et les pistes d'interprétation tel que nécessaire
	Karst	Glacio-karst	Extraction de minéraux ; développement (par ex. infrastructures et installations de ski) ; empiètement de la végétation	Maintenir les processus naturels et l'intégrité des reliefs ; éviter les carrières et le développement ; gérer l'empiètement de la végétation
Sites finis	Caractéristiques de portée limitée dans une gamme de situations (par ex. carrières actives et inactives, falaises côtières, estran, berges de cours d'eau et grottes)	Dépôts du Quaternaire interglaciaire et interstadial	Extraction de minéraux ; développement ; pratiques agricoles et d'utilisation des terres et activités récréatives inappropriées ; boisement ; empiètement de la végétation	Éviter les carrières, le développement, le boisement, la décharge et le remblaiement, la protection des côtes et des cours d'eau en ingénierie « lourde », les activités récréatives inappropriées, l'excavation irresponsable de dépôts de grottes ; sécuriser l'accès ; gérer l'empiètement de la végétation

Source : adapté de Prosser et al., 2006, 2018.



Photo 7.11 Animal fossile, *Dickinsonia*, site fossile de Nilpena (560 millions d'années), Parc de conservation d'Ediacara, Australie-Méridionale. L'un des premiers animaux sur Terre, qui pouvait se déplacer et se nourrissait de tapis bactériens. © Graeme L. Worboys

- Sites d'exposition - Surveiller les expositions de sédiments, et réaliser la maintenance (par ex. nettoyage de la végétation), si nécessaire, selon le niveau et le type d'utilisation ; et
- Caractéristiques finies/uniques - Maintenir une protection stricte afin de prévenir toute disparition des intérêts principaux (par ex. dépôts interglaciaires) ; dans certains cas, lorsque l'intérêt est particulièrement vulnérable, il peut requérir un enfouissement.

Certaines petites aires protégées peuvent être gérées comme des entités discrètes, mais en général les caractéristiques glaciaires et périglaciaires se manifesteront comme reliefs et assemblages de processus complexes (Kiernan, 1996 ; Reynard, 2009b), et les caractéristiques individuelles varieront selon leur sensibilité aux menaces particulières. Les impacts de la fragmentation et de la perte d'intégrité, et le contexte des assemblages de reliefs, sont donc des considérations importantes à prendre en compte.

Dans les milieux glaciaires modernes, les objectifs de gestion des aires protégées de géoconservation doivent être de maintenir les processus actifs, et de protéger l'intégrité et le contexte des assemblages de reliefs inactifs qui sont présents. Les principales menaces viendront probablement du tourisme et des activités récréatives, de la production hydroélectrique et du développement de la foresterie. Les impacts peuvent provenir directement de la construction de bâtiments et des infrastructures associées ;

et indirectement des mesures d'atténuation des risques qui semblent nécessaires pour protéger le développement (par ex. protection des berges des cours d'eau). Les impacts directs et indirects de l'installation de nouveaux bâtiments sur les caractéristiques du géopatrimoine doivent être évalués, ainsi que les risques pour le public, notamment parce que l'accélération du changement climatique augmente les risques pour les glaciers et le permafrost (Kääb et al., 2005). Dans certaines zones comme l'Himalaya, les risques accrus d'inondations soudaines provenant des lacs de glaciers sont particulièrement inquiétants pour les communautés et les visiteurs en aval. Il faut donc installer des mesures d'avertissement et faire baisser les niveaux des lacs par des solutions d'ingénierie.

Les reliefs inactifs et les dépôts finis sont particulièrement sensibles aux dommages provoqués par toute une gamme de menaces (voir Tableau 7.2) (voir photo 3.5). Les principaux objectifs de gestion pour de telles caractéristiques sont de maintenir l'intégrité des reliefs, et l'accès aux expositions ou localités, là où les sédiments peuvent être réexposés facilement pour la recherche scientifique et, lorsqu'approprié, l'interprétation. Dans le cas des reliefs, la principale exigence de gestion est d'empêcher les dommages issus d'activités comme l'extraction de minéraux, le développement et le boisement (Tableau 7.3). Dans le cas des carrières en activité, il y a deux exigences principales : premièrement, veiller à ce que l'accès soit autorisé pour la recherche scientifique (sous réserve de considérations de santé et de sécurité



Photo 7.12 Cavité avec une paroi en cristal de quartz, mont Gee, Aire de protection d'Arkaroola, Australie-Méridionale. La zone  pith male en surface aurait ressemblé à un Yellowstone moderne, avec des geysers et des piscines chaudes.   Graeme L. Worboys

raisonnables), notamment lorsque du matériel scientifiquement important (par ex. des dépôts interglaciaires) seraient perdus de façon permanente ; et deuxièmement, garder des sections représentatives et des réserves non-creusées après la fin de l'activité, si possible. Pour le dernier point, des négociations pr coc es avec les exploitants de la carrière et les autorités de planification seront nécessaires (Prosser, 2016).

Dans le cas des carrières et mines inactives, il y a deux exigences pour la restauration et la gestion lorsque l'activité cesse. Tout d'abord, l'accès aux sections doit être préservé à des fins d'études et de nettoyage (  la main, ou par une pelle mécanique). Si l'accès est préservé, alors des utilisations ultérieures, comme l'enfouissement, la construction de bâtiments ou le boisement, peuvent être pris en considération autour de la zone de conservation, par le biais d'une conception technique ou d'une planification appropriée. Il est possible d'associer le géopatrimoine et les objectifs de biodiversité.

Deuxièmement, lorsque les sections ne sont pas laissées ouvertes, il faut maintenir l'option d'un accès temporaire futur, par ex. pour permettre les réunions scientifiques ou les projets de recherche. Après de tels événements, les sections pourront être remblayées. Des conseils sur les approches et des solutions de conservation pour diverses situations inactives sont résumés dans le Tableau 7.2, avec d'autres détails fournis par Kiernan (1996), Prosser et al. (2006) et Kirkbride & Gordon (2010).

Dans des cas exceptionnels (par ex. lorsque l'intérêt est extrêmement fragile et/ou spatialement très restreint), la méthode de conservation la plus appropriée pourra être d'enfouir les principaux intérêts, et de les exhumer pour un objectif précis (par ex. une étude scientifique, ou une visite organisée par un organisme professionnel) (Bridgland, 2013). Pour cela, placez un géotextile sur la section, et couvrez-le de déblais. Ces déblais peuvent se revégétaliser, mais les espèces à racines plus profondes ne peuvent pénétrer le géotextile. Cela facilite la réexposition, tout en protégeant les sédiments pendant la période intermédiaire.

Lorsque des reliefs inactifs sont endommagés, il convient de penser à une restauration appropriée (voir Encadré 7.1).

Le SISS de la carrière de Pitstone est un bon exemple de l'intégration de la conservation du géopatrimoine et de la biodiversité dans le cadre de la restauration planifiée d'un ancien site d'extraction de minéraux. Ce site est un témoignage de deux épisodes interglaciaires, d'un épisode froid intermédiaire, et de caractéristiques périglaciaires où des vestiges de plantes et d'animaux indiquent les changements des milieux et des processus.

Le site est une ancienne carrière de craie partiellement inondée, aujourd'hui gérée comme réserve de nature locale par une ONG environnementale locale. Certains des principaux dépôts du Quaternaire sont actuellement dissimulés par la végétation et des talus. Dans le cadre d'un plan intégré de gestion du site, les propriétaires du site, en partenariat avec des géologues locaux, vont : réaliser des opérations de défrichage de la végétation ; excaver une récente exposition de démonstration dans les dépôts périglaciaires ; développer de nouvelles ressources éducatives et d'interprétation sur le géopatrimoine ; et améliorer l'accès aux visiteurs et aux chercheurs.

La photographie à point fixe sera utilisée pour surveiller les conditions du site, ce qui aidera à renseigner la gestion de sa future géoconservation.

Dans certains cas, il est possible d'imiter la surface terrestre originale (par ex. Gray, 2013). Cependant, il vaut mieux empêcher en premier lieu les dommages.

L'interprétation doit faire partie intégrante des objectifs de gestion sur les sites appropriés, en suivant les lignes directrices des meilleures pratiques exposées plus loin dans cette section. Parmi les exemples, citons le Parc national Glacier ( tats-Unis) (<https://www.nps.gov/glac/index.htm>) et le Musée norvégien du Glacier (<http://www.bre.museum.no/>).

7.3 Gérer les sites paléontologiques et minéraux

Caractéristiques de valeur

Les sites avec des fossiles et des minéraux sont une partie très précieuse du géopatrimoine. Leur conservation - en fait, dans certains cas leur stricte préservation - est nécessaire, afin que ces sites et leurs spécimens associés, à la valeur scientifique importante, ne soient pas perdus et que les générations présentes et futures puissent les étudier, apprendre d'eux et en profiter.

Tableau 7.3 Protéger les sites paléontologiques des menaces.

Potential threat sources	Preferred management action
Collecteurs amateurs	La collecte de fossiles est en général interdite dans les aires protégées où tous les phénomènes naturels sont protégés. Il y a des exceptions, mais seulement sous contrôles stricts, et après que l'autorité de gestion a déterminé que les bénéfices de la collecte (comme façon de promouvoir l'intérêt envers la paléontologie pour le public) dépassent les coûts de la disparition des ressources. Le site du patrimoine mondial de la côte du Jurassique, près de Lyme Regis, Angleterre, autorise la collecte de fossiles provenant de l'érosion d'un front de falaise à la marque de marée haute (voir photo 6.15).
Voleurs professionnels	Les méthodes utilisées pour lutter contre le vol des fossiles rares par des voleurs professionnels sont : présence de gardes sur le site, utilisation de la surveillance électronique, construction de structures protectrices qui ferment le site et, en dernier ressort, relocalisation des fossiles précieux dans des collections de musées.
Collecteurs pour la recherche	La recherche scientifique dans les aires protégées est en général gérée par le biais d'un système de permis, où les chercheurs ont la permission d'excaver les fossiles avec un impact minimum. Dans de nombreux cas, les chercheurs ne peuvent pas perturber le site, par ex. sur un site qui abrite une palette précieuse de coquillages fossiles. Il y a aussi de nombreux sites où les scientifiques sont activement encouragés à réaliser des excavations, comme les sites où des fossiles sont trouvés sur une plateforme littorale soumise à érosion. Dans la pratique, les gestionnaires d'aires protégées doivent mettre en place une relation de travail solide avec le groupe de recherche autorisé, et avoir des liaisons avec les gardes forestiers pour s'assurer activement que les règles sont respectées, que les informations sont échangées, et que les nouvelles connaissances acquises sont incluses dans les descriptions d'histoire naturelle et les programmes interprétatifs. Visitors often will be encouraged to visit fossil sites and to appreciate an 'extract of Earth's history' that is on display. Depending on the nature of the fossils, visitor access to open-air exposures is usually organised with fixed walking routes. For especially sensitive sites, guided tours are normally provided; many outcrops/specimens may be located behind protective structures. Some specimens are so sensitive that they may be relocated from an outcrop to an on-site visitor centre.
Gestion des visiteurs	Les visiteurs sont souvent encouragés à aller sur les sites fossiles, et à apprécier cet « extrait de l'histoire de la Terre ». Selon la nature des fossiles, l'accès des visiteurs aux expositions à l'air libre peut être organisé avec des sentiers balisés et fixes. Pour les sites très sensibles, des visites guidées sont proposées ; de nombreux affleurements/spécimens peuvent être situés derrière des structures de protection. Certains spécimens sont néanmoins tellement sensibles qu'ils peuvent être relocalisés, de l'affleurement à un centre de visiteurs sur place.
Centres de visiteurs	Certains sites de fossiles sont tellement exceptionnels qu'ils sont protégés au sein de grandes structures construites à cet effet, qui associent centres de visiteurs et musée. Le bâtiment de la carrière du Monument national Dinosaur (Utah, États-Unis), par ex., abrite une excavation d'un enchevêtrement d'os de dinosaures. La structure sert d'atelier et de site d'excavation pour les paléontologues, et de site d'exposition pour le public.

Les ressources paléontologiques (fossiles) sont les vestiges et les témoignages de la vie passée préservée dans un contexte géologique ; en tant que telles, elles sont une ressource non-renouvelable. Les fossiles ont une valeur scientifique et éducative, car ils offrent des données importantes liées à l'histoire de la vie, à l'évolution des paléo-écosystèmes, et aux événements géologiques passés. La science de la paléontologie continue à se développer, car de nouvelles découvertes fossiles sont faites régulièrement.

Les sites minéraux et minéralogiques offrent des témoignages précieux de l'évolution physique de la Terre. Ils nous aident à comprendre le processus des plaques tectoniques, et la complexité de l'intrusion d'origine ignée (roche fondue immiscée sous la surface), de l'éruption volcanique et du métamorphisme (température, pression et changements chimiques dans les roches originales). Les minéraux fournissent également une source de matières brutes industrielles, et comptent parmi nos biens les plus précieux. Comme les fossiles, les minéraux sont

collectés à grande échelle, et la recherche, notamment celle soutenue par les techniques analytiques modernes, continue à développer notre compréhension de la minéralogie.

La gestion des ressources et des localités paléontologiques et minéralogiques doit se baser sur des principes scientifiques, des pratiques de gestion des ressources strictes, et une autorité légale, lorsque nécessaire.

Menaces

Les processus naturels et les activités humaines peuvent influencer la stabilité des fossiles exposés à la surface de la Terre. L'érosion naturelle et physique, ainsi que les activités humaines comme les carrières, sont les plus importants agents pour révéler les fossiles et les minéraux. Par exemple, certaines des localités de fossiles les plus productives sont situées le long de littoraux qui s'érodent activement et dans des carrières actives. Lorsque ces ressources sont limitées en étendue, les mêmes processus naturels peuvent cependant représenter



Photo 7.13 Parc national de la forêt pétrifiée, Arizona. Vestiges fossiles de la forêt tropicale de la période Triassique, il y a 225 millions d'années. © José Brilha



Photo 7.14 Préserver les spécimens rares dans un environnement soigneusement contrôlé est une approche testée et approuvée. Musée d'histoire naturelle de Berne, Suisse. © Roger Crofts

Encadré 7.2

Étude de cas des sites paléontologiques dans les Parcs nationaux américains

Le Service des Parcs nationaux américains gère au moins 242 parcs où des ressources paléontologiques ont été renseignées dans les inventaires de référence.

Le principe global régissant les ressources paléontologiques non-renouvelables dans les Parcs nationaux américains, comme l'énonce la loi qui a créé le Service des Parcs nationaux américains, est de les préserver et les protéger « de telle façon et avec de tels moyens qu'elles seront laissées intactes pour la jouissance des générations futures ». La loi de préservation des ressources paléontologiques de 2009 est la principale autorité juridique aux États-Unis pour la gestion et la protection des fossiles. Le Service des parcs nationaux américains et d'autres agences fédérales de gestion des terres ont élaboré des réglementations, des politiques et des orientations de procédure afin de soutenir une gestion basée sur la science des ressources paléontologiques non-renouvelables. Les activités de gestion spécifique associées aux localités de fossiles incluent : inventaire, suivi, recherche, collecte de fossiles, conservation dans les musées, gestion des données, conservation sur site, protection, interprétation et éducation. Certains sites de fossiles garantissent l'élaboration d'un plan de gestion des ressources paléontologiques pour fournir une approche stratégique à la gestion des sites paléontologiques.

Les inventaires de ressources paléontologiques (également appelés « études fossiles ») sont des outils de gestion importants pour établir la portée, la signification et la répartition des ressources paléontologiques. S'appuyant sur la littérature publiée et non-publée, un effort de 10 ans pour compiler les inventaires de ressources paléontologiques de référence pour tout le Service des Parcs nationaux américains a été terminé en 2011 (Santucci et al., 2012). Ces inventaires systématiques ont plus que doublé le nombre de parcs identifiés comme ayant des fossiles. Ils ont également révélé de nouvelles informations scientifiques, auparavant non-reconnues par le personnel du parc, ce qui a entraîné une gestion plus responsable des fossiles du parc et de nouvelles opportunités d'éducation du public et de recherche.

14 unités de Parcs nationaux américains ont ainsi été créées, en totalité ou en partie pour leurs ressources fossilifères. L'un des parcs fossiles les plus connus est le Monument national Dinosaur (Colorado et Utah), qui préserve la célèbre carrière Dinosaur Douglass, et est considéré comme un « Jurassic Park » réel. On retrouve les squelettes de dinosaures du parc dans les musées du monde entier. Le Parc national de la Forêt pétrifiée,

Arizona, est un autre parc populaire de fossiles, qui offre aux visiteurs l'occasion de faire un saut 200 millions d'années en arrière, et de voir ainsi les vestiges d'un écosystème terrestre Triassique. Outre les troncs d'arbres pétrifiés magnifiquement préservés, le parc abrite également des vestiges de premiers dinosaures, ainsi qu'un assemblage divers d'autres vertébrés et invertébrés préhistoriques, et de fossiles de plantes et traces. Le parc soutient un programme actif de recherche géologique et paléontologique, préserve des collections significatives de fossiles, et offre une expérience éducative populaire pour les visiteurs du parc provenant du monde entier.

Au vu de la nature non-renouvelable des fossiles, les impacts sur le long terme des activités de collecte de fossiles non-autorisées représentent un problème significatif de protection et de gestion des ressources, comme le montre l'histoire malheureuse du Monument national de Fossil Cycad, Dakota du Sud, qui a existé de 1952 à 1957. La collecte non-autorisée des cycadales fossilisées dans le parc a entraîné la disparition pure et simple de toutes les anciennes plantes exposées en surface. La perte des fossiles sur le site a entraîné son déclassement, et le Monument national Fossil Cycad a été supprimé des unités du Service des parcs nationaux américains en 1957. Les enseignements tirés de cet exemple aident à concevoir des pratiques modernes de gestion des ressources sur les sites paléontologiques présents sur des terres publiques (Santucci et Hughes, 1998).

une menace, entraînant en dernier recours la disparition du fossile ou de la ressource minérale. Les activités humaines intentionnelles ou non, comme les activités de construction ou la collecte intense, peuvent menacer les ressources et les localités paléontologiques et minéralogiques (Tableau 7.3) (Santucci & Koch, 2003 ; Santucci et al., 2009). Citons comme exemple notable le déclassement par le Congrès nord-américain du Monument national de Fossil Cycad, Dakota du Sud, parce que les collectionneurs avaient pris tous les spécimens en surface, et la principale caractéristique d'intérêt avait été perdue (Santucci and Hughes, 1998).

Principes et lignes directrices de gestion

Des lignes directrices et codes de conduite utiles pour la conservation des fossiles et des sites minéraux, et pour une

collecte responsable, ont été rédigés (ProGEO, 2011) et appliqués dans certains pays, par ex. par le Service des Parcs nationaux américains (Encadré 8.5). Citons comme autres exemples : les lignes directrices pour collecter des spécimens géologiques (fossiles et minéraux) en Angleterre, et les conseils pour gérer différents types de localités de fossiles et de minéraux (Natural England, 2012) ; le Code de conduite de la collecte de fossiles de l'ouest du Dorset (site du patrimoine mondial du littoral du Dorset et de l'est du Devon, 2011) ; et le Code pour la collecte, la conservation et le stockage de fossiles (Scottish Natural Heritage, 2008).

Le Service des Parcs nationaux américains a élaboré des indicateurs de stabilité des ressources paléontologiques, comprenant des informations sur le climat, les taux d'érosion, les attitudes et le comportement des humains, et la perte



Photo 7.15 Le volcan Semeru, le plus haut volcan de Java, en éruption à l'horizon. Au premier plan la caldera Tengger, avec le cône volcanique de Batok strié de ravines au centre, et le cône fumant de Promo à gauche. © Lee Siebert, Parc national indonésien.



Photo 7.16 Un méga lac de cratère au creux d'une caldera, formé après une éruption, dans l'aire protégée transfrontalière du mont Changbaishan/volcan du mont Paekdu, Chine/République démocratique populaire de Corée. © Kayla Iacavino

Tableau 7.4 Résumé des principes pratiques pour la conservation des sites de fossiles et de minéraux

■	Toujours encourager la collecte responsable dans les aires protégées.
■	Les mesures de gestion de la conservation doivent être proportionnelles à l'importance scientifique de l'aire protégée et des fossiles/minéraux présents.
■	Adopter la gestion de la conservation aux conditions locales, en prenant en compte des questions comme l'étendue de la ressource collectée, son taux de rénovation, la pression potentielle de la collecte, etc.
■	Permettre les recherches et études <i>bona fide</i> basées sur le site, afin de faciliter le développement de la géoscience.
■	Conserver les ressources fossiles et minérales <i>in situ</i> lorsque possible. Dans des cas extrêmes, envisager l'enlèvement et la conservation dans un musée, en prenant garde à enregistrer toutes les informations contextuelles avant.
■	Limiter la collecte à certaines parties du site qui sont les moins vulnérables, ou à des sites qui sont de moindre importance, et encourager la collecte à partir des matériaux en vrac ou de rebut.
■	Envisager l'enfouissement (lorsque la menace de l'érosion naturelle ou de la collecte ne peut être gérée) de certains sites importants pour conserver les fossiles et minéraux dans le contexte, afin qu'ils soient disponibles plus tard pour la recherche.
■	Mettre en place des protocoles pour conserver les sites de fossiles et de minéraux, et convenir d'un code de conduite pour une collecte responsable qui inclut les collecteurs amateurs, universitaires, institutionnels et commerciaux.
■	Mettre en place des plans d'enregistrement des spécimens pour les principaux sites, en encourageant les collecteurs à partager les informations.
■	Encourager une communication régulière entre les propriétaires et les gestionnaires, les collecteurs, les musées et les chercheurs.
■	Veiller à ce que des visites de site régulières et un suivi soient en place, afin d'évaluer la condition générale ; lorsque des dommages ont lieu, rechercher un système de gestion appropriée.

ou les gains de spécimens en surface (Santucci et Koch, 2003). Ces indicateurs ont été développés plus encore dans le système de suivi des Signes vitaux en cinq étapes, qui comprend les taux de changement naturel dans les variables géologiques et climatiques, les processus géologiques catastrophiques, l'hydrologie et la bathymétrie, et les impacts humains (Santucci et al., 2009). Le Tableau 7.4 énonce les principes, et l'Encadré 7.2 présente une étude de cas.

Il est communément accepté que la collecte de fossiles, lorsqu'elle est responsable, peut encourager la science et contribuer à la recherche, et participer positivement à notre compréhension, à la conservation et à l'expérience de la géodiversité, à condition de suivre un code de bonnes pratiques (voir les principes énoncés dans le Tableau 7.4). Cependant, la collecte irresponsable de fossiles et de minéraux rares représente une perte significative pour la science, et peut aussi endommager les expositions et faire perdre d'autres spécimens. Les excavateurs mécaniques, les explosifs, les barres à mines et les scies à roches sont utilisés pour enlever les fossiles et minéraux, à la recherche de spécimens rares, précieux ou de qualité élevée. Il est important de travailler de façon constructive avec les différents groupes de collecte. Par ex., sur le site du patrimoine mondial de la côte du Jurassique (R.-U), les collecteurs locaux (y compris les collecteurs commerciaux) sont encouragés, par le biais du Code de conduite de collecte de fossiles de l'ouest du Dorset Un Code de conduite de la collecte a notamment été mis au point avec des spécialistes et des conservateurs de musée, afin de s'assurer que les matériels collectés soient enregistrés et étudiés, et que les spécimens ayant une réelle valeur scientifique soient gardés dans des institutions publiques pour un usage public.

Lorsque des fossiles très rares et des sites minéraux sont menacés, une solution est de déplacer les spécimens et/ou les ressources fossiles ou minérales pour les conserver dans un musée, où ils seront disponibles pour le public et les scientifiques. Sur les géosites où il est difficile de déplacer des spécimens, une approche alternative est de réaliser des moules et moulages de haute qualité (Williams et Edwards, 2013). Les répliques détaillées deviennent ainsi une ressource pouvant être utilisée pour la recherche et l'éducation hors-site, réduisant ainsi les pressions sur le site. Cette approche est particulièrement intéressante pour enregistrer les ichnofossiles (traces fossilisées).

7.4 Gérer les aires protégées et conservées volcaniques

Reliefs, processus et caractéristiques de valeur

Les paysages volcaniques montrent des processus géologiques et géomorphologiques fondamentaux pour comprendre comment fonctionne la dynamique de la Terre, de l'échelle globale à locale, et pour relier les processus de l'intérieur de la Terre avec ceux qui sont à sa surface. Outre leur valeur géoscientifique essentielle, les volcans sont l'une des étapes les plus dynamiques de la nature, ce qui s'exprime dans la grande biodiversité que l'on trouve dans de nombreux paysages volcaniques, les connexions culturelles entre les populations et leur environnement, et en tant que trace de l'évolution humaine sur chaque continent. Cette orientation de gestion s'appuie surtout sur Wood (2009) aidée de Casadevall et al. (2019).

Les reliefs volcaniques varient énormément en forme et en taille, allant de petits cônes de cendres à d'énormes



Photo 7.17 éruption de la fissure d'Holuhraun, octobre 2014, Parc national de Vatnajökull, Islande, qui a libéré la plus importante coulée de lave depuis plus de 200 ans en Islande. Les dangers pour les visiteurs et les résidents ont été ma tr s s en fermant la zone aux passagers et au trafic routier, même si les avions ont été autorisés à survoler le site, comme pour la photo.   Roger Crofts



Photo 7.18 Cône d'éruption de 1910, partie du volcan de Teide (ombre du sommet à l'avant-plan à droite), Parc national du Teide, Tenerife,  les Canaries, Espagne. L'accès à la zone du sommet, fragile et potentiellement peu sécurisée, est aujourd'hui gérée par un funiculaire, et un permis est requis pour entrer dans le cratère.   Roger Crofts

Tableau 7.5 Questions de gestion des risques à prendre en compte dans les zones volcaniques.

Bassin versant	Les risques volcaniques peuvent s'étendre à des dizaines de kilomètres du centre de l'activité, par le biais de glissements de terrains, coulées de boue, lahars et effondrement des pentes. Évaluer l'évaluation municipale des risques volcaniques, et inclure les recommandations dans le plan de gestion.
Industrie extractive	Globalement, il doit y avoir un a priori négatif vis-à-vis de l'industrie extractive dans les aires protégées, car il y a inévitablement une perte de la géodiversité et une modification des processus. Dans le cas de minéraux dont l'exploitation est nécessaire et qui ne peuvent être obtenus hors de l'aire protégée, les sites potentiels d'extraction doivent être évalués à l'échelle de leurs reliefs de surface et souterrains, et de leur connectivité hydrogéologique, afin d'identifier les zones d'« impact minimum ».
Caractéristiques volcaniques fragiles	De nombreuses zones d'hydrothermalisme, ainsi que les jeunes caractéristiques volcaniques et les roches volcaniques tendres, peuvent être endommagés et détruits s'ils ne sont pas bien gérés. Un inventaire doit être réalisé pour prioriser les zones ayant besoin d'une protection. Des mesures pour éloigner les visiteurs de ces caractéristiques pourront être requises. Pour les caractéristiques particulièrement sensibles, il convient éventuellement d'interdire leur accès, ou de ne pas faire la publicité de leur localisation.
Collecte non-autorisée	De nombreux produits volcaniques sont prisés des collectionneurs, comme les obsidiennes vitreuses, les bombes volcaniques et autres dépôts. Les gestionnaires doivent insister sur le fait qu'il s'agit de ressources non-renouvelables.
Bâtiments	Tout nouveau bâtiment dans les aires protégées volcaniques, comme les centres de visiteurs, exige au préalable une étude de surface et souterraine, afin d'éviter de construire sur des caractéristiques souterraines comme les tubes de lave, ou dans des zones qui poseraient des risques pour la stabilité des bâtiments.
Parking et transport des visiteurs	Lorsque possible, les parkings doivent être assez éloignés des reliefs de surface et géosites importants.
Production d'électricité et stockage du combustible	Les installations des visiteurs dans certaines aires protégées volcaniques sont isolées et non-raccordées au réseau électrique. Lorsque possible, l'électricité doit être produite sur le site, en utilisant des unités éoliennes, hydrauliques ou solaires. Si les générateurs au diesel ne peuvent être évités, le combustible pour leur consommation et toute autre utilisation essentielle doit être stocké dans des entrepôts construits à cet effet, et disposant de procédures pour éviter les fuites.
Gestion des visiteurs	
Accès des visiteurs	La grande majorité des aires protégées volcaniques sont sous-développées, mais peuvent malgré tout recevoir de nombreux visiteurs qui viennent randonner ou camper. Dans les aires protégées, un système de permis peut être mis en place pour restreindre le nombre de visiteurs. Tous les visiteurs doivent s'engager à respecter un code de visite pour un impact minimum, et dans les zones très fréquentées, des chemins préférés doivent être clairement (mais discrètement) marqués.
Au sein de l'aire protégée	Les études des aires volcaniques doivent faire l'inventaire des principaux géosites et des détails du géopatrimoine, afin de faciliter la gestion par zonage. Les sections de l'aire qui conviennent le mieux à l'accès des visiteurs doivent être identifiées, ainsi que les zones où des restrictions d'accès doivent être appliquées du fait de la fragilité exceptionnelle ou des risques posés.
Installations existantes	De nombreuses zones volcaniques ont été créées avant d'être désignées aires protégées et, malheureusement, certaines ont été significativement endommagées et leurs caractéristiques et points de vue volcaniques ont pu être détruits. Ces endroits peuvent toujours servir les finalités de l'aire protégée, mais les gestionnaires doivent se demander si le déplacement et la restauration des caractéristiques ne pourrait pas être préférable. Dans certains cas, après un épisode volcanique, ces installations peuvent être endommagées ou détruites - il faut alors profiter de l'occasion pour ne pas les reconstruire.
Études scientifiques	Les zones volcaniques font très souvent l'objet d'études scientifiques, du fait de la valeur que renferment ces processus souterrains qui remontent à la surface. L'intérêt de la recherche scientifique peut être particulièrement élevé après un épisode volcanique. Les études scientifiques sont encouragées, mais les gestionnaires d'aires protégées doivent garder à l'esprit que certains types de recherche impliquent le carottage ou le déplacement de volumes relativement grands de roches. Pour ces types d'études, un système de permis est recommandé, en mettant l'accent sur la protection de l'intégrité du géosite et la zone de géopatrimoine au sens large. Dans les lieux où ces études ont pu détruire ou défigurer des caractéristiques importantes pour le géopatrimoine, une restauration doit être mise en œuvre pour minimiser les dommages sur le long terme.

volcans. Les volcans peuvent être des phénomènes longs, formés par des épisodes répétés d'activité volcanique qui peuvent avoir eu lieu il y a des centaines de milliers voire des millions d'années (par ex. l'île d'Islande pourrait avoir été formée sur une période de 20 millions d'années ; la caldera de Las Cañadas, Tenerife, Espagne, pourrait être vieille de plus de 3,5 millions d'années ; l'activité ayant formé l'île de Jeju (mont Halla), République de Corée, a commencé il y a environ 0,8 million d'années ; tandis que l'île de Sainte-Lucie, dans les Caraïbes, est un exemple d'effondrements complexes et explosifs qui se chevauchent). Cela signifie que les centres volcaniques plus anciens peuvent être des superpositions complexes de différents reliefs et compositions de lave au fil du temps, avec également des effondrements. Outre les processus et reliefs volcaniques contemporains, les scientifiques sont intéressés par les vestiges des anciens volcans, qui sont préservés en surface. Des traces d'ancienne activité volcanique peuvent être trouvées dans les sections géologiques verticales exposées sur les fronts de falaises et les côtés de la vallée, ou dans les dessins faits par les structures rocheuses sur la surface terrestre.

Les paysages volcaniques peuvent également accueillir des phénomènes d'hydrothermalisme, comme des sources chaudes, des geysers, des mares de boue et des fumerolles. Les sources chaudes se créent lorsqu'une eau souterraine chauffée par la géothermie émerge de la croûte terrestre. On les trouve partout sur Terre, y compris dans les fonds océaniques.

Menaces

Le géopatrimoine volcanique pose de nombreuses menaces aux humains, et les humains posent de nombreuses menaces au géopatrimoine volcanique. Certaines gestionnaires d'aires protégées ne comprennent pas que des caractéristiques volcaniques magnifiques peuvent aussi être actives. Il est donc possible que le risque posé par ces conditions dangereuses (par ex. les éruptions, émissions de gaz, activités de fumerolles, glissements de terrain et autres risques volcaniques) ne soit pas bien abordé dans le plan de gestion du site. Attirer des visiteurs vers des zones géophysiques actives implique la responsabilité de surveiller l'activité volcanique et de mettre en place des plans d'urgence comme composantes essentielles du processus de gestion. De nombreuses zones volcaniques incluent le suivi du site, et des systèmes de communication et de réponse d'urgence pour les résidents. Cependant, ils n'abordent pas toujours les risques spécifiques des aires protégées, qui nécessitent un système d'avertissement pour les touristes et une méthode organisée pour l'évacuation ou la protection. Les aires protégées offrent un bon moyen pour fournir de telles informations, mais elles sont souvent oubliées lors de la planification de la gestion. Il y a également une valeur éducative à sensibiliser d'une façon scientifiquement valide le public aux risques volcaniques.

Le Parc national de Tongariro, Nouvelle-Zélande, est un bon exemple de plan de réduction des risques réussis dans un site du patrimoine mondial volcanique. La menace que posent les

lahars (coulées de boue) causées par le déversement d'eau provenant du sommet du mont Ruapehu est particulièrement préoccupante pour la sécurité des skieurs et les infrastructures sur ses pentes, ainsi que pour les routes, fermes et habitations avoisinantes. Un suivi sophistiqué du lac de cratère et des systèmes d'avertissement des lahars ont été installés, ce qui s'est avéré crucial pour réduire les accidents et les dommages aux biens lors d'un récent phénomène de lahar.

Les gestionnaires de sites doivent travailler avec les scientifiques pour renseigner les menaces possibles d'un volcan, mais aussi avec les autorités civiles et d'urgence, et les communautés locales, pour préparer un plan d'urgence en cas d'incident grave. La planification des imprévus est aujourd'hui reconnue comme primordiale pour préserver le public de toute une gamme de situations de risques ; cependant, les gestionnaires d'aires protégées volcaniques doivent également garder à l'esprit les risques posés pour les biens naturels à valeur élevée pour la conservation. Le mont Fuji du Japon a mis en place de tels plans de gestion, et a mené des exercices d'évacuation. De tels plans ont été également préparés en Islande du Sud, en préparation de l'éruption du volcan Katla, et ont été mis en pratique en 2010 lorsque le volcan adjacent est entré en éruption.

À l'opposé, lorsque l'on gère les menaces que font peser les humains au géopatrimoine volcanique, il est important que les plans et la gestion des aires protégées offrent une protection adéquate du système volcanique dans son ensemble, notamment de ses styles d'éruption, produits et reliefs (Tableau 7.5). Le public a tendance à penser que la géologie volcanique est solide, alors que de nombreuses jeunes caractéristiques volcaniques, comme les dépôts hydrothermaux et les produits éruptifs délicats, sont assez fragiles. En outre, les menaces introduites par l'humain aux valeurs géologiques peuvent requérir une intervention. Dans la plupart des cas, ces menaces impactent également l'écologie et les valeurs culturelles du site ; lorsque ces valeurs sont importantes, ces sites doivent être gérés comme des systèmes intégrés.

Principes et lignes directrices de gestion des sites

Les sites volcaniques ont d'autres valeurs naturelles qui dépendent souvent des facteurs abiotiques spéciaux du terrain volcanique. L'écologie d'un volcan sera influencée, ou dans certains cas dépendra du type de roches, de sol, de la géomorphologie ; et de caractéristiques comme le micro-terrain, l'aspect, l'altitude, l'aridité et parfois même la perturbation volcanique. Les volcans ont également très souvent une forte importance culturelle.

En général, du fait de leur grande taille, de leur longue durée de vie éruptive (qui peut s'étendre sur des centaines de milliers d'années), et des dangers inhérents, la plupart des systèmes volcaniques actifs sont relativement peu perturbés et influencés par le comportement humain. À de nombreuses occasions, l'interaction entre les humains et les volcans est à l'inverse de celle qui influence les autres systèmes naturels, car les volcans peuvent poser et posent d'ailleurs des risques significatifs à la vie et aux biens, et, il est vrai, à la conservation

de caractéristiques géologiques, biologiques et culturelles importantes. Cependant, l'activité humaine menace aussi de nombreuses aires protégées volcaniques : décharges illégales, pollution des eaux souterraines, construction inappropriée d'autoroutes, érosion de la qualité de la vie sauvage, tourisme commercial (y compris le développement du ski), surutilisation récréative, conduite hors-piste, et extraction de minéraux, entre autres.

Éducation et interprétation

Les objectifs de la gestion peuvent également être atteints par des programmes d'éducation et d'interprétation. Les volcans font partie des destinations touristiques les plus visitées au monde. Le Parc national de Fuji-Hakone-Izu, Japon (la zone autour du mont Fuji) peut recevoir jusqu'à 100 millions de visiteurs par an, et environ 300 000 personnes escaladent le sommet du volcan chaque année. Le site du patrimoine mondial volcanique le plus visité est le Parc national du Teide, Tenerife, Espagne, qui reçoit 3,2 millions de visiteurs par an. Tous les sites du patrimoine mondial volcanique offrent un accès aux touristes. Dans le Parc national des volcans d'Hawaï, sur l'île de Kilauea, États-Unis, et sur le Stromboli, îles éoliennes, Italie, tout un chacun peut observer en toute sécurité le volcanisme actif qui se déroule sous ses yeux. La valeur éducative de cette expérience - observer un volcan dormant ou actif - est immense, car nulle part ailleurs sur Terre avons-nous une telle démonstration de la puissance et de l'importance de la géologie et des processus magmatiques qui ont participé à la formation de notre planète.

Aujourd'hui, d'excellentes installations d'interprétation sont mises en place dans de nombreux sites du patrimoine mondial volcaniques et dans de nombreuses aires protégées volcaniques du monde. Citons comme exemples notables : le Parc national de Hingvellir, Islande, et d'Heimay dans les îles Vestmann au large de la côte sud de l'Islande ; le Parc national des volcans d'Hawaï et le Parc national de Yellowstone, États-Unis ; le Parc national du Teide, Tenerife, Espagne ; et le Parc national de Tongariro, Nouvelle-Zélande. Le Stone Park de l'île de Jeju, République de Corée, est très innovant. De superbes expositions graphiques, en 3D et interactives, expliquent la géologie volcanique de l'île, et sont également liées à une interprétation artistique de la roche basaltique et du folklore de l'île. De telles expositions, ainsi que les publications d'interprétation et les services de guide qui vont avec, jouent un rôle essentiel pour sensibiliser le public, lui faire comprendre et apprécier la beauté et l'intérêt des volcans, et insister sur la protection de cette ressource géologique.

Suivi

Les méthodes utilisées pour surveiller le comportement d'un volcan sont assez sophistiquées, et impliquent la télédétection et des mesures dans et autour des volcans, pour détecter les mouvements de magma en profondeur. Les instruments mesurent l'activité sismique souterraine, les profils géophysiques et thermiques, la déformation du sol, la géochimie des gaz émis, les données hydrologiques, et

la chimie, chaleur et viscosité de la lave. Dans la plupart des cas, les gestionnaires d'aires protégées devront consulter des vulcanologues et autres experts géologues pour mettre au point des méthodes de suivi.

En outre, de nombreux volcans de l'Holocène ont aujourd'hui été évalués pour leurs risques, ce qui est un résumé descriptif des risques potentiels, avec une carte montrant les zones pouvant être affectées par la future activité volcanique. Les cartes sont utiles pour les gestionnaires de sites, les scientifiques, les autorités civiles et les personnes vivant à proximité du volcan. Tous ces acteurs pourront ainsi juger eux-mêmes de la relation entre les zones potentiellement dangereuses et leur vie quotidienne. Les évaluations sont également essentielles pour planifier à long terme l'utilisation des terres et mettre en place des mesures efficaces de réponse aux situations d'urgence.

Éducation et communication pour la géoconservation

8



There is no substitute for getting students out into the field with a trained educator, Dan Tormey one of the authors, as here at La Brea Tar Pits fossil site, a National Natural Landmark, California, USA. © Dan Tormey

Cette section est axée sur l'éducation et la communication pour la géoconservation. Les sujets suivants sont abordés :

- Principes et pratiques généraux pour l'interprétation (8.1)
- Éducation (8.2)
- Sensibilisation du public (8.3)
- Communiquer grâce aux nouveaux médias numériques (8.4)
- Communiquer grâce aux médias traditionnels (8.5)

Cette section décrit plusieurs types et niveaux de communication autour du géopatrimoine, en imaginant que les centres de visiteurs physiques et numériques seront au cœur de cette communication. La communication servant trois finalités est décrite : interprétation, éducation et sensibilisation du public. Suite à cela, les outils de communication sont présentés, et divisés en techniques pour les nouveaux médias numériques et techniques pour les médias traditionnels.

8.1 Interprétation

L'interprétation est une méthode de communication destinée à révéler la signification des ressources d'une aire protégée plutôt que simplement transmettre des informations factuelles. Le principe directeur d'une interprétation efficace est : *par l'interprétation, la compréhension ; par la compréhension, l'appréciation ; par l'appréciation, la protection*. Les programmes d'interprétation ciblent généralement les visiteurs des parcs, mais l'interprétation peut désormais se produire n'importe où, avec des programmes de vulgarisation d'éducation environnementale, et une interprétation basée sur Internet ou une application mobile. L'interprétation sur site peut cependant être particulièrement impactante, car elle peut compléter l'expérience directe du public avec les valeurs du géopatrimoine, et comment elles soutiennent la biodiversité et les valeurs culturelles. On trouve dans Santucci (2005) un bon aperçu de la communication autour de la relation entre géodiversité et biodiversité.

Interpreting Our Heritage, de Freeman Tilden (1957), est un guide général devenu un classique portant sur l'interprétation du patrimoine. Tilden définit *l'interprétation du patrimoine* comme une activité éducative visant à révéler les significations et les relations par l'utilisation d'objets originaux, l'expérience directe, et les médias illustrés, plutôt que par une simple communication des informations factuelles.

Le Service des Parcs nationaux américains dispense une formation intensive sur l'interprétation, basée sur les principes de Tilden (Smaldone, 2003 ; Ham, 2013). L'Association nationale américaine pour l'interprétation possède également de nombreuses informations et outils en ligne, avec d'excellents exemples de documents d'interprétation ayant déjà fait leurs preuves. Bruno & Wallace (2019) donnent des conseils pratiques pour concevoir des panneaux interprétatifs pour le géopatrimoine.

L'interprétation peut renforcer l'appréciation des ressources du géopatrimoine de diverses façons, notamment en soulignant

les connexions entre le paysage et la géologie sous-jacente, et en délimitant les relations entre la géologie du substrat rocheux et la flore, la faune et l'histoire humaine d'une aire protégée. En outre, voir les rochers et les paysages depuis d'autres perspectives et échelles permet de mieux comprendre la valeur des ressources géologiques comme parties intégrantes des parcs. Très souvent, une communication efficace, notamment les programmes d'interprétation, permet au public de se connecter à l'importance des valeurs du géopatrimoine au sein des sociétés et des communautés au sens large, et peut encourager une meilleure appréciation de leur signification. Cela peut ensuite encourager une éthique de la conservation envers le géopatrimoine.

La planification de l'interprétation est une étape initiale dans le processus de planification et de conception des géosites et des propriétés similaires, où l'interprétation est utilisée pour communiquer des messages, des histoires, des informations et des expériences. C'est un processus décisionnaire qui associe les besoins en gestion et les questions de ressources avec les besoins et les désirs des visiteurs, afin de déterminer la façon la plus efficace de communiquer un message à un public cible. L'objectif est de relier le contenu de façon intelligente à l'expérience personnelle du visiteur, et de provoquer émotion, réflexion ou envie d'en savoir plus sur un sujet. La plupart des plans d'interprétation sont basés sur la définition de thèmes qu'il est important de communiquer à divers publics. La planification de l'interprétation peut également orienter la façon dont les publics vont réagir et interagir avec un site ou une exposition particulière. Cette planification identifie et analyse les objectifs et problématiques de l'interprétation, de l'éducation et de l'expérience du visiteur, et recommande les façons les plus efficaces, efficaces et pratiques pour y répondre. Le plan oriente ensuite la conception et le développement du projet, et devient une ressource pour la communication, la sensibilisation et la collecte de fonds. Des détails généraux sont donnés dans les Lignes directrices des meilleures pratiques sur le tourisme et la gestion des visiteurs de la CMAP/UICN (Leung, et al., 2019).

Fang et al. (2013) présente l'utilisation du géotourisme comme un système de communication contextuel complet en Chine et aux États-Unis, et compare les systèmes d'interprétation de deux Géoparcs mondiaux en Chine à ceux du Parc national de Zion, aux États-Unis. À partir des enseignements et expériences tirés, ce document suggère d'utiliser le géotourisme comme un système de communication contextuel complet, dans lequel le personnel d'un géosite (la source) donne des informations sur ses valeurs culturelles et naturelles



Phone 8.1 Interprétation de style classique : très accessible avec des graphiques clairs et des phrases simples sur les schistes de Burgess et l'évolution de la vie dans la période du Cambrien. Parc national de Yoho, Canada. © Roger Crofts



Photo 8.2 Les reproductions en trois dimensions sont une bonne façon de montrer la relation entre les roches souterraines et le paysage. Musée d'histoire naturelle de Berne, Suisse. © Roger Crofts



Photo 8.3 Une autre méthode pour améliorer la compréhension des visiteurs est d'annoter des photos de faces rocheuses avec des informations facilement compréhensibles, comme ici dans les Rocheuses canadiennes. © Roger Crofts

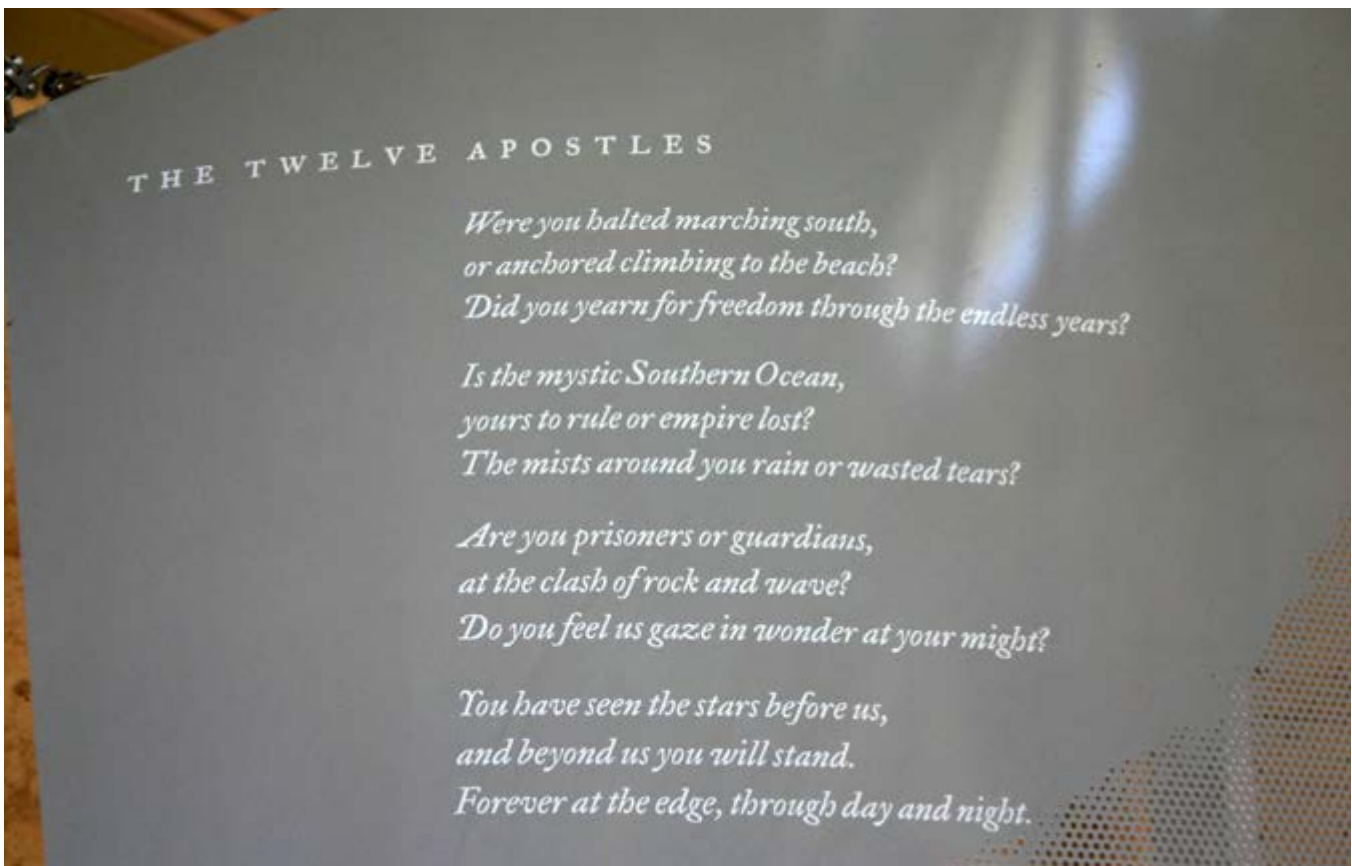


Photo 8.4 L'utilisation de la poésie peut stimuler l'intérêt et provoquer des sentiments vis-à-vis du paysage. Poème au Parc national marin des Douze apôtres, Victoria, Australie. © Roger Crofts



Photos 8.5 et 8.6 Des centres d'interprétation sophistiqués et coûteux de géopatrimoine ne sont pas nécessaires. Il est moins cher et plus efficace de raconter une histoire simplement, en extérieur, comme dans le Parc national de Bogong, Victoria, Australie. © Roger Crofts

uniques à des touristes cibles (les bénéficiaires) par le biais d'activités touristiques (les moyens).

8.2 Éducation

Accroître la sensibilisation et l'implication par le biais de l'éducation et de l'interprétation sont des composantes essentielles de la géoconservation. Raconter l'histoire géologique d'une aire protégée équivaut à raconter une petite partie de l'histoire de la Terre. C'est souvent fascinant et, si c'est bien préparé, cela peut être très convaincant. L'un des défis est de rendre l'histoire innovante et facile à comprendre, car les textes sur le géopatrimoine sont vite complexes. L'objectif doit être de renseigner, divertir, et éduquer, comme l'avait reconnu de façon visionnaire James Hutton (1795), pour qui l'étude de la Terre : « doit offrir à l'esprit humain de l'information et du divertissement ». Une géoconservation efficace dépendra surtout du renforcement de la prise de conscience, de la compréhension et du soutien du public.

L'un des plus gros défis est de savoir parler de l'immensité des temps géologiques à un public non-technique. Le Parc national Torres Del Paine, Chili, a préparé un compte-rendu intéressant de sa géologie extraordinaire (<http://www.parquetorresdelpaine.cl/en/>). Le centre des visiteurs présente des panneaux avec des explications très claires sur la géologie du Parc, ainsi qu'une exposition en extérieur des types de roches que l'on trouve dans le Parc, que les visiteurs peuvent voir de près et toucher. C'est le type d'affichage qui communique efficacement sur la géologie spéciale d'un Parc spécial.

L'interprétation de la géodiversité par le biais du géotourisme n'est pas un phénomène nouveau, comme le démontrent l'attrait et l'intérêt culturel anciens envers les grottes ouvertes au public, les glaciers, les montagnes sacrées et autres merveilles naturelles géologiques. Au 18^e et 19^e siècles, les populations s'engageaient avec le paysage physique par l'expérience, et les caractéristiques naturelles, les lieux et les événements passés ont inspiré un sens d'émerveillement par la connexion au paysage, la littérature, la poésie, l'art et le tourisme. Aujourd'hui, il est moins important de posséder

la connaissance que d'être capable de la trouver, de la sélectionner et de l'appliquer - et tout cela rapidement. L'important est donc de trouver et d'utiliser l'information pour répondre aux défis et aux questions ; d'apprendre aux gens à penser (IUCN, 2015).

Un bon exemple d'un excellent programme d'éducation au géopatrimoine est celui mis au point aux États-Unis par le Service des Parcs nationaux américains qui est axé sur la paléontologie - avec la Journée nationale des fossiles, qui a lieu en octobre chaque année. Depuis que cette Journée a été créée dans le cadre de la Semaine des sciences de la Terre en 2010, de plus en plus de partenariats ont été noués, pour inclure aujourd'hui plus de 360 partenaires, dans tous les États des États-Unis. Ces partenaires sont capables de fournir une éducation et une sensibilisation sur les fossiles locaux aux enfants, familles, écoles et autres groupes intéressés. Ce partenariat est majoritairement destiné à intéresser davantage les enfants dans la chronique de fossiles, mais il y a également des activités destinées à d'autres populations cibles, et plus de 100 000 brochures pour « paléontologues juniors » ont été distribuées.

8.3 Sensibilisation du public

Toutes les communications et activités d'éducation peuvent être considérées comme une « sensibilisation du public », mais dans cette section le terme signifie la communication auprès des communautés, entreprises touristiques, et parties prenantes qui peuvent avoir une influence ou des intérêts particuliers à préserver le site, mais qui n'ont peu ou pas du tout de connaissances sur la géodiversité. Par définition, une aire protégée implique que les utilisations qui vont à l'encontre des objectifs de conservation ne sont pas permises. En conséquence, la communication d'une aire protégée à destination des communautés locales et autres parties prenantes régionales est souvent essentielle pour que les politiques et les intérêts économiques locaux concurrents soutiennent les objectifs de conservation.

Un excellent exemple de sensibilisation du public à l'échelle mondiale est la Commission de l'éducation et de



Photo 8.7 Même les experts ont besoin d'un guide expert. Au Parc national de Yellowstone, États-Unis, les membres du Comité directeur mondial de la CMAP de l'UICN sont formés par un géologue du Service des Parcs nationaux américains. © Roger Crofts



Photos 8.8 et 8.9 Il n'est pas facile d'appréhender l'immensité des temps géologiques. Deux méthodes utilisées dans la Réserve de nature nationale de Knockan Crag, Écosse, sont montrées. La photo du haut montre des rochers mis à l'envers, où les rochers les plus anciens sont placés au-dessus des plus jeunes. © Roger Crofts. Sur la photo du bas, l'utilisateur tourne une manivelle, lui permettant de visualiser comment une partie de la croûte terrestre, l'Écosse, s'est déplacée avec le temps de l'hémisphère sud jusqu'à l'hémisphère nord. © Roger Crofts

Encadré 8.1

Les falaises fossilifères de Joggins, Canada

Les falaises fossilifères de Joggins, un site du patrimoine mondial situé dans la baie de Fundy en Nouvelle-Écosse, Canada (voir photo 1.2), représentent une bonne étude de cas sur l'éducation et l'interprétation. Les falaises fossilifères de Joggins sont qualifiées de « Galapagos du Carbonifère », à cause de l'importante quantité de fossiles de la période Carbonifère qu'elles contiennent (de 354 à 290 millions d'années). Les roches du site sont considérées comme des exemples types de cette période de l'histoire de la Terre ; elles constituent le vestige de la strate pennsylvanienne (vieille de 318 à 303 millions d'années) le plus important en épaisseur et en richesse au monde, ainsi que le registre fossilifère le plus complet des formes de vie terrestres de cette époque.

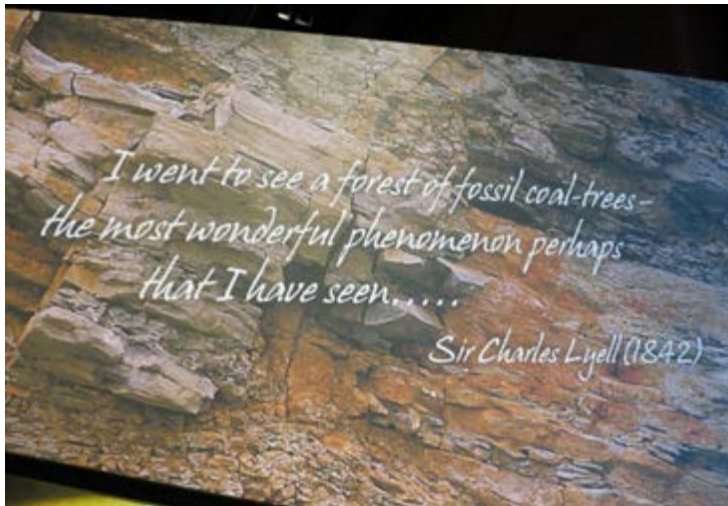


Photo 8.10 Citer les personnalités éminentes qui ont déjà visité le site peut être utile. Aux falaises fossilifères de Joggins, site du patrimoine mondial, les visites de Lyell, l'un des plus éminents géologues du milieu du 19e siècle, et de Darwin, sont utilisées efficacement dans le centre des visiteurs. © Roger Crofts

L'association locale de développement économique et trois niveaux de gouvernement ont collaboré pour créer l'Institut des fossiles de Joggins, qui présente, encourage et gère les falaises par le biais d'un centre d'interprétation et de recherche ultra-moderne. L'Institut répond au défi que constitue la communication de volumes de connaissances scientifiques souvent complexes à des publics variés dans une période de temps courte. En collaboration avec diverses parties prenantes, et dans le cadre de la candidature pour devenir site du patrimoine mondial, une planification et une conception interprétatives ont été réalisées afin de définir l'approche pour raconter le récit de l'histoire naturelle et culturelle à Joggins. La planification interprétative a encouragé un apprentissage à choix libre, par des mécanismes variés qui encouragent les individus à développer leurs propres conclusions. L'Institut a mis au point des documents éducatifs qui permettent d'enseigner la science d'une façon qui prépare les non-initiés à comprendre la géologie, et à adopter une approche critique à ce sujet. Les recherches actuelles au nouveau Centre de Joggins encouragent également les visiteurs à apprécier le degré d'incertitude de la paléontologie, et les impliquent dans la méthode scientifique. Les scientifiques, les éducateurs, les concepteurs et les non-initiés ont validé le message et l'approche, en communiquant autour de la signification des falaises fossilifères de Joggins de façon innovante, engageante et même amusante (Boon & Calder, 2008).



Photo 8.11 Un affichage facile à comprendre sur la formation des arbres fossiles aux falaises fossilifères de Joggins. © Roger Crofts

Encadré 8.2**Promouvoir l'éducation et la formation : Une formation en ligne sur les Géoparcs mondiaux**

Une nouvelle formation a été mise en ligne à l'université de Minho, Portugal (<https://cursosonline.uminho.pt/EN/geoparquesed2>) afin de répondre aux besoins éducatifs du personnel des aires protégées dans les Géoparcs mondiaux de l'UNESCO en matière de principes et de stratégies. Elle s'adresse à ceux qui veulent s'impliquer dans des projets de géoparcs, et à un public plus large. Cette formation sur quatre semaines comprend quatre modules : (1) concepts généraux sur les géoparcs ; (2) structures et stratégies des géoparcs ; (3) les géoparcs comme outils pour le développement durable ; et (4) Programme international sur la géoscience et les géoparcs de l'UNESCO. L'université remet un diplôme à ceux qui terminent la formation. La première édition de cette formation a eu lieu en portugais en avril 2016, avec 23 étudiants provenant de différents pays (Argentine, Brésil, Chili, Equateur, Italie, Mexique et Portugal). Pour accroître le nombre d'étudiants potentiels, des formations en anglais ont commencé en octobre 2016. Cette formation en ligne est une façon efficace de garantir une éducation de haute qualité pour toute personne intéressée à travailler dans un géoparc mondial, et d'encourager la formation continue du personnel existant des géoparcs, qui a ainsi la possibilité d'étudier n'importe où et n'importe quand grâce à Internet.

la communication de l'UICN : un grand nombre de ses programmes offrent de bons exemples de sensibilisation du public liés au géopatrimoine. Ses documents fournissent des éléments qui sont souvent absents de la recherche scientifique et des politiques de la conservation : comment communiquer au mieux, comment inciter à l'action par les sciences du comportement, et comment se faire entendre dans un monde bruyant.

Un exemple plus local est donné par la Société géologique d'Espagne (SGE), qui organise une activité nationale de sensibilisation du public tous les 5 juin : *Geolodia*, ou la Journée de la géologie. Geolodia est une initiative destinée à la sensibilisation du public et à l'éducation environnementale, basée sur l'interprétation du géopatrimoine et l'explication des processus géologiques dans la nature. Geolodia est née de la constatation que le public comprenait mal ce qu'était la géologie. La première Journée a eu lieu en 2005, et depuis la participation n'a fait qu'augmenter. Cette journée consiste surtout en des voyages de terrain guidés par des géologues. La SGE, qui est Membre de l'UICN, a décidé en 2010 de faire de Geolodia une initiative nationale, après plusieurs années de réussite au niveau local.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°20 :
Déterminer la nature et les caractéristiques du public cible pour sensibiliser efficacement le public sur la géoconservation.

8.4 Communiquer grâce aux nouveaux médias numériques

Le public auquel s'adresse la communication va du grand public, qui a besoin d'une approche de l'interprétation « tout compris », aux groupes d'apprenants de divers niveaux, qui veut une approche plus précise avec des objectifs éducatifs, et aux communautés et groupes cibles de parties prenantes pour la sensibilisation du public listée ci-dessus (Section 8.3), qui ont besoin d'une approche encore plus précise. Cette sous-section sur les médias numériques et la prochaine sous-section sur les médias traditionnels décrivent plus en détail les outils disponibles pour atteindre tous ces publics.

Mobile apps

Les applications mobiles - logiciels mis au point spécialement pour être utilisés sur des petits appareils informatiques sans fil - sont particulièrement efficaces pour communiquer sur le géopatrimoine. De nombreux parcs faisant partie du réseau des parcs nationaux américains ont mis au point des applications mobile pour aider et éduquer les visiteurs par le biais du Centre pour les médias interprétatifs du Service des Parcs nationaux américains (USNPS, 2019). Aujourd'hui, les applications mobiles jouent également un rôle pour étendre la portée des aires protégées en connectant des visiteurs uniquement virtuels à un matériel d'apprentissage.

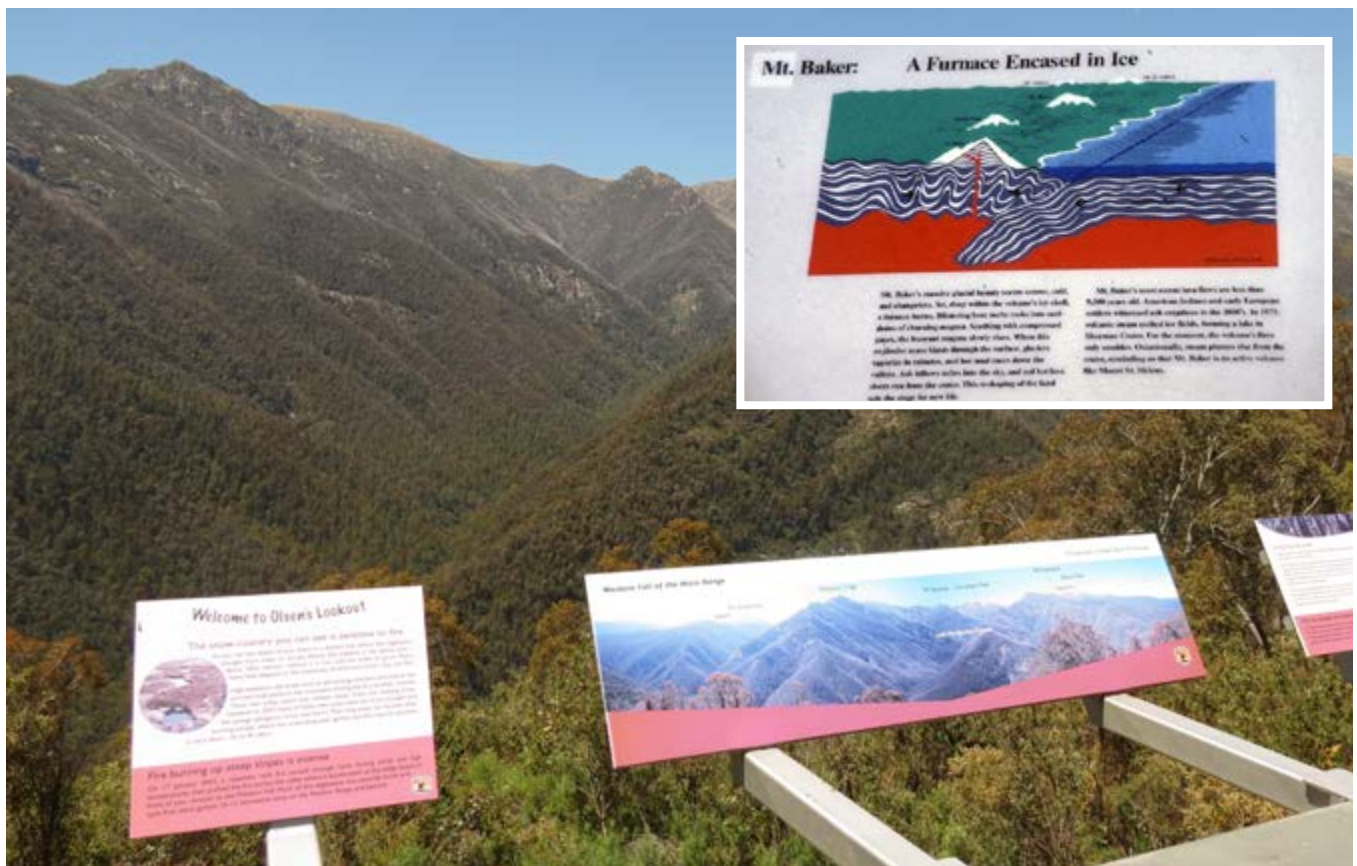
Il y a encore de la place pour élaborer de nouvelles idées et développer l'utilité des applications mobiles au bénéfice des valeurs du géopatrimoine. L'application peut par exemple afficher du contenu développé par les gardes forestiers, comme des instructions de conduite menant les visiteurs aux zones d'intérêt ; ou du contenu supplémentaire sur des sites d'intérêt particulier dans l'aire protégée. L'objectif global serait d'avoir un guide forestier virtuel parlant aux utilisateurs depuis l'application, et les dirigeant vers d'autres contenus s'ils veulent aller plus loin.

Autres approches numériques de communication

Les outils numériques ont révolutionné la science, et orientent également les nouvelles approches du géopatrimoine et du géotourisme. La géo-information, la géovisualisation, le suivi numérique et les systèmes SIG jouent un rôle important dans le développement de nouvelles méthodes d'évaluation et de cartographie, et le développement de géosites à des fins touristiques et éducatives. Les médias numériques ont révolutionné l'interaction directe entre une institution et sa base mondiale d'utilisateurs. Le numéro de *Geoheritage* de juin 2014 était un numéro spécial sur les nouvelles technologies numériques appliquées à la gestion du géopatrimoine (Cayla et al., 2014). Concernant la description numérique, il prend en compte le géoréférencement et la cartographie du géopatrimoine, l'imagerie numérique en 3D (notamment la photogrammétrie et le balayage par laser) et des expériences dans la promotion du géopatrimoine à l'aide de la réalité augmentée (processus qui enrichit la découverte par les médias numériques, ou fournit une réalité virtuelle par laquelle le visiteur



Photo 8.12 Pièce de contrôle au Géoparc mondial de Yuntaishan, Henan, Chine. Elle rassemble toutes les activités dans l'aire protégée, et d'autres informations. © Dan Tormey



Photos 8.13 et 8.14 Une signalétique disposée aux points de vue et sur les sentiers, lorsqu'elle est faite discrètement, offre des bénéfices supplémentaires aux utilisateurs comme le montrent les deux photos. Parc national de Kosciuszko, Nouvelle-Galles du Sud, Australie ; et Parc national du mont Baker [haut à droite], État de Washington, États-Unis. © Roger Crofts

peut s'engager). Des réseaux montagneux et de grottes karstiques sont utilisés comme études de cas. Des méthodes et techniques de cartographie sur Internet pour l'évaluation et la promotion du géopatrimoine sont présentées, avec l'application de cartographie Internet Google Maps API pour diffuser les inventaires de géosites établis en Suisse à l'échelle nationale et régionale.

Dans une autre étude de cas, quatre géosites volcaniques en République tchèque ont été choisis pour présenter les nouvelles technologies disponibles pour communiquer les résultats récents de la recherche scientifique à un public non-professionnel plus large. Les résultats de chaque site volcanique ont été résumés et transformés dans des images utilisées pour l'animation 3D. Les mêmes sources utilisées pour les animations 3D ont été utilisées pour la production de modèles virtuels de réalité augmentée. Les résultats ont été testés sur des enfants scolarisés, et montrent que les méthodes modernes appliquées à la popularisation du géopatrimoine volcanique sont très attractives (Rapprich et al., 2017).

Google Street View est une importante ressource pour explorer le géopatrimoine, puisqu'il nous transporte visuellement vers de nombreux sites impressionnants dans notre pays et dans le monde. Street View nous permet de nous renseigner sur un site, même un site que l'on ne connaît pas bien, ce qui peut conduire à des perspectives importantes. La vraie puissance et le caractère récréatif de Street View est de nous permettre d'explorer un lieu en déplaçant notre perspective visuelle autour de l'image. Des instructions très utiles pour l'application de cet outil au géopatrimoine sont disponibles ici : (<http://www.earthsciweek.org/classroom-activities/geoheritage-google-street-view>).

L'arrivée et le développement rapide des communications par le biais des réseaux sociaux et d'Internet ont révolutionné la diffusion de l'information, y compris celle sur le géopatrimoine et la géoconservation, ainsi que la capacité des personnes à correspondre et à se connecter. La communication d'une personne à une personne, d'une personne à de nombreuses personnes, et de nombreuses personnes à de nombreuses personnes, n'a jamais été aussi facile, depuis le niveau hyper

local jusqu'au niveau mondial. Le public ne dépend plus de la réception des nouvelles et informations par les médias de masse traditionnels.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°21 :

Inclure une planification interprétative, des programmes de sensibilisation à l'éducation environnementale hors site, et une interprétation basée sur Internet ou aidée par une application mobile, afin que les aires protégées de géoconservation attirent les visiteurs, améliorent la compréhension de la géoconservation, et améliorent l'expérience des visiteurs.

8.5 Communiquer grâce aux médias traditionnels

Les médias d'informations traditionnels (presse, télévision, radio) sont essentiels pour atteindre un public plus important, mais il y a souvent encore beaucoup de travail à faire pour communiquer autour du géopatrimoine auprès du public et des principales parties prenantes avant de fournir toute information aux médias (Cohen et al., 2020). Concernant les médias traditionnels, il est important en premier lieu d'informer les personnes ou groupes qui se sentent directement impactés par tout ce qui peut être dit ou fait. Cela veut dire que les principales parties prenantes ne doivent pas apprendre l'existence de plans dans le journal, sans en avoir été informées auparavant. Cela demande donc un plan de communication plus large, qui identifie les objectifs et les actions de communication, et où les médias ne sont qu'un élément du processus de communication – et ni le premier ni le seul.

Les gestionnaires d'aires protégées utilisent les médias pour atteindre un vaste public avec des messages et des informations qui soutiennent les objectifs de gestion, soit en sensibilisant le public et en lui faisant comprendre les raisons derrière les actions, soit en s'assurant du respect et de la coopération du public parce qu'il comprend et soutient les objectifs. Les médias de masse sont très importants pour définir la façon dont les messages de la conservation et la réputation de l'agence sont gérés et reçus dans le monde.

Tableau 8.1 Quelques principes généraux pour l'interprétation et l'éducation autour du géopatrimoine.

1.	Intégrer une planification interprétative dans la conception d'aires protégées de géoconservation.
2.	Éviter la terminologie géoscientifique complexe, et favoriser un langage courant ; le rendre informatif, intéressant et divertissant.
3.	Concevoir l'interprétation autour de la capacité de l'utilisateur à comprendre la complexité de l'histoire et des processus de la Terre qui sont représentés dans l'aire protégée.
4.	Améliorer la compréhension en reliant ce que le public voit aux roches et structures souterraines.
5.	Améliorer les connexions en reliant les roches et les sols de l'aire protégée à la flore en surface.
6.	Fournir des descriptions faciles à comprendre sur les origines des caractéristiques du géopatrimoine dans l'aire protégée.
7.	Fournir des informations en donnant le contexte géohistorique de l'aire, afin d'améliorer la compréhension des forces naturelles qui ont été déterminantes dans son évolution.
8.	Fournir des perspectives visuelles du paysage, et ce qui se trouve en-dessous à différentes échelles.
9.	Faire des liens entre le géopatrimoine dans l'aire protégée et l'histoire humaine culturelle et économique.

Ils joueront un rôle important pour justifier ou démontrer un sujet important pour la gestion des aires protégées. Il peut s'agir des incendies, de la gestion des nuisibles, ou d'autres problématiques liées à l'accès des visiteurs, mais un plan médias soigneusement conçu peut être très utile pour faire pencher l'opinion publique dans le sens voulu. L'objectif est de trouver des situations et circonstances liées directement à votre problématique, et de les promouvoir dans les médias sur une longue période de temps, d'une façon qui valide et renforce continuellement votre argument.

Prenez l'exemple de la communication autour des géorisques et de la restriction d'accès à des aires protégées. Les processus géologiques provoquent des tremblements de terre, des éruptions volcaniques, des tsunamis et d'autres risques géologiques qui peuvent affecter l'accès aux aires protégées. Pour souligner et promouvoir l'engagement de l'organisme envers la sécurité de ses visiteurs, il convient de préparer des messages clairs, soutenus par des faits et chiffres mis à jour, des vidéos, des photos, et une présence importante sur les réseaux sociaux si possible. Cela transforme l'aspect négatif d'une restriction en un aspect positif d'interprétation, d'éducation et d'appréciation des forces naturelles protégées comme du géopatrimoine.

Ligne directrice des meilleures pratiques n°22 : Utiliser les médias traditionnels pour informer le public au sujet de la géoconservation.

Le Tableau 8.1 donne quelques principes généraux pour l'interprétation et l'éducation autour du géopatrimoine.

Vue d'ensemble

9



Approche intégrée pour la gestion d'une aire protégée, illustrée dans le Parc national des Hohe Tauern, Autriche. Vision spectaculaire du Grossglockner, le sommet culminant de l'Autriche ; intérêt scientifique avec le recul du glacier dû au changement climatique sur le glacier Pasterze, offrant des installations aux visiteurs pour profiter de la zone, en savoir plus sur elle, et escalader la montagne et visiter le glacier. © John Gordon

Ces Lignes directrices des meilleures pratiques sur la géoconservation dans les aires protégées et conservées exposent les raisons de la protection, comment mettre en place un système, comment développer la gestion, comment gérer les menaces naturelles et humaines, et comment communiquer avec le public. Il s'agit des premières Lignes directrices de l'UICN sur ce sujet, suite à l'élargissement de la définition d'une aire protégée dans la révision des *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées* (Dudley, 2008), afin d'inclure toute la nature en intégrant les éléments abiotiques.

La géoconservation est de plus en plus reconnue comme une composante importante de la création et de la gestion des aires protégées et conservées. Cela s'est notamment traduit par le vote de plusieurs résolutions lors de différents Congrès mondiaux de la nature, par la mise en place du programme des Géoparcs mondiaux de l'UNESCO, et par des actions sur le terrain. Même si l'on manque d'une convention internationale identique à la Convention sur la diversité biologique pour donner à la géoconservation une reconnaissance officielle, la Déclaration de Digne (citée dans la Section 2) est ce qui s'en rapproche le plus. La création et le travail du Groupe de spécialistes de la CMAP UICN sur le géopatrimoine est un point central de référence, et un corps d'expertise que peuvent utiliser toutes les personnes impliquées dans les aires protégées. Cette expertise est la base des éléments qui composent ces Lignes directrices.

Ces Lignes directrices présentent des approches qui peuvent être méconnues par le personnel des aires protégées et leurs conseillers spécialistes. Nous avons donc fourni une introduction contextuelle détaillée sur la géoconservation dans les Section 2 et 3, qui, nous l'espérons, permettra d'améliorer la compréhension et sera lue par tout le monde. Nous avons également rédigé un glossaire, afin d'aider le lecteur à comprendre la terminologie et les concepts souvent complexes.

Le point de départ de la géoconservation dans les aires protégées et conservées doit être la reconnaissance que, même si le géopatrimoine semble éternel et immuable, ce n'est absolument pas le cas. Le géopatrimoine peut être endommagé de différentes façons par la négligence humaine, comme nous l'avons montré dans la Section 6 : vandalisme (vol de fossiles ou d'autres composantes précieuses) ou destruction par inadvertance (ouverture de carrières pour des routes ou d'autres constructions). Le géopatrimoine peut également être naturellement fragile du fait de la composition de ses matériaux, comme des sols ou laves facilement érodables, des modifications dans les cours d'eau et le niveau de la mer, et aujourd'hui des effets omniprésents du changement climatique mondial.

Du fait des conséquences de ces changements et menaces, le géopatrimoine requiert une gestion active, basée sur une connaissance solide, et une planification, un suivi et une évaluation efficaces de la gestion.

Comme nous l'avons décrit, il existe un cadre théorique et pratique solide pour la géoconservation dans les aires

protégées et conservées. À ce jour, il n'a pas toujours été reconnu comme partie intégrante de la création et de la gestion d'une aire protégée et conservée. Ces Lignes directrices cherchent à combler cette lacune, en aidant les gestionnaires, le personnel et leurs conseillers à avoir facilement et systématiquement accès à ce vaste corpus de travail dans tous leurs efforts en faveur de la conservation.

La géoconservation est importante en soi. Il y a de nombreux sites dans le monde où elle est et peut être la seule ou principale finalité d'une aire protégée ou conservée. Elle prend même peut-être une plus grande importance lorsque ses liens avec la conservation de la biodiversité sont reconnus et suivis d'effets. C'est pour cette raison que nous avons à diverses reprises souligné l'intégration de la planification et de la gestion de la conservation de la biodiversité et de la géodiversité dans les aires protégées et conservées. Le concept en évolution de géodiversité comme « la scène de la nature », qui sous-tend de nombreux processus et fonctions biologiques, et son application dans une gestion pratique, aidera à réunir les deux composantes de la bio et géo-conservation. C'est en général le cas de l'ensemble (c'est-à-dire toute la nature dans une aire protégée ou conservée), qui est plus grand que la somme de ses parties individuelles. En d'autres mots, il est vital de protéger et de gérer la fonctionnalité des écosystèmes dans leur intégralité.

Très souvent dans l'histoire des humains, les valeurs dominantes attribuées à ce qui est actuellement considéré comme le géopatrimoine sont globalement culturelles et spirituelles. C'est également le cas avec les valeurs d'usage liées aux matériaux extraits, comme les roches, les minéraux ou les pierres précieuses. Ainsi, l'importance que nous accordons à ce lien dans la description de nos valeurs et dans la gestion pratique est décrite dans la Section 5.

Il y a une grande expertise disponible sur la géoconservation. Elle augmente tous les jours, comme le montrent les articles dans la revue *Geoheritage*, et l'importance croissante de la géoconservation dans le travail d'organismes professionnels géologiques et géomorphologiques, comme l'Union internationale des sciences géologiques et l'Association internationale des géomorphologistes. Au sein de la CMAP de l'UICN, la taille et l'expertise du Groupe de spécialistes sur le géopatrimoine se développe, comme source de conseils et d'orientations pour les collègues au sein de la Commission, et source de contacts dans le domaine de la géoconservation pour les autres personnes travaillant au sein de la famille de l'UICN.

Les approches de la géoconservation sont systématiques dans leurs raisons et leur application, et nous espérons que les diverses sections des présentes Lignes directrices l'auront démontré. Une approche systématique de gestion n'est donc pas seulement recommandée : elle est relativement facile à mettre en œuvre. Comme nous l'avons déjà dit, vous, lecteurs, n'êtes pas seuls au vu de la quantité d'expertise qui existe. Un grand nombre d'experts seront disposés à vous aider et à vous conseiller, sur la base d'une neutralité des coûts.

L'approche de la géoconservation dans les aires protégées est différente de la norme de la conservation biologique. Par exemple, les échelles des temps géologiques peuvent être très longues, et une gestion efficace exige de reconnaître que certaines caractéristiques et/ou processus datant de centaines de millions d'années sont importants en soi. La protection de sites spéciaux montrant comment la Terre a évolué est donc une composante importante de la géoconservation. Les géologues aiment cette phrase : « Le passé est la clé du présent », qui signifie que les enseignements du passé sont pertinents pour comprendre l'évolution des paysages et des écosystèmes aujourd'hui. Par ailleurs, et il s'agit là d'une autre différence avec la conservation biologique, les caractéristiques fragiles peuvent avoir besoin d'être recouvertes pour les protéger de l'interférence humaine, tout en pouvant être exhumées à des fins scientifiques à tout moment à l'avenir. Dans un monde naturel qui change rapidement, il est aussi important de protéger les processus modernes et les caractéristiques qu'ils créent.

Cet élément dynamique fournit un « laboratoire vivant », et requiert une approche active (plutôt que strictement protectrice) à la gestion des sites. Cela peut inclure, éventuellement, de laisser de la place aux processus naturels pour qu'ils puissent évoluer, en accroissant la taille des sites ou en en désignant de nouveaux, plutôt qu'en cherchant à les fixer et à les contrôler. Du fait du changement climatique, on ignore si la préservation de la nature spécifique abiotique et biotique sera possible, aussi il est indispensable d'adopter une approche adaptative, permettant ainsi l'évolution du système et le développement de sa résilience.

Si les gestionnaires d'aires protégées s'arrêtent à l'étape de gestion du processus, ils rateront un élément fondamental : la communication du géopatrimoine et de sa conservation. Nous reconnaissons qu'il s'agit d'un défi de taille, car la langue est trop souvent complexe, la démesure des caractéristiques géologiques entrave leur compréhension, et les spécialistes ne sont pas toujours les meilleurs communicants auprès d'un public général, et même auprès de leurs collègues des aires protégées. L'utilisation d'approches modernes de communication, comme nous l'avons décrit dans la Section 8, est essentielle pour aller de l'avant. Il faut également utiliser des communicants qui seront les interprètes et les conteurs du paysage naturel. Ils ne seront peut-être pas des experts de la géoconservation, mais ils réussiront à démystifier la science et à impliquer l'auditoire.

Tout au long de cette publication, nous avons énoncé des Lignes directrices de meilleures pratiques. Elles sont délibérément présentées comme des « à faire », et sont répertoriées dans le Résumé.

Glossaire

Les mots en italique dans les définitions font référence à d'autres mots du Glossaire

À l'échelle du paysage : approche de conservation à grande échelle dans la totalité d'un paysage, par opposition à une approche au niveau du site.

Activité épithermale : activité à faible profondeur, faible en température et en pression, entraînant la formation de veines minérales et de dépôts de minerais.

Activité sismique : mouvements de la Terre sentis en surface, résultant des activités tectoniques et volcaniques dans la croûte terrestre.

Aire protégée : espace géographique clairement défini, reconnu, dédié et géré, par des moyens légaux ou autres, afin de favoriser la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et des valeurs culturelles qui y sont liées.

Autre mesure de conservation efficace par zone (AMCE) : zone géographiquement délimitée, autre qu'une aire protégée, qui est réglementée et gérée de façon à obtenir des résultats positifs et durables à long terme pour la conservation *in situ* de la diversité biologique, y compris des fonctions et services écosystémiques connexes et, le cas échéant, des valeurs culturelles, spirituelles, socioéconomiques et d'autres valeurs pertinentes localement.

Bassin versant : toute la zone d'un système hydrographique, depuis sa source jusqu'à son exutoire, y compris tous ses affluents et les terres entre les cours d'eau.

Calcaire : *roche sédimentaire* composée principalement de calcite et/ou dolomite, formée par la précipitation de matières non-organiques et l'accumulation de matières organiques dans les milieux marins ou, moins souvent, dans les milieux d'eau douce. Le tuf et le travertin sont des exemples de calcaires d'eau douce.

Cellules côtières : unité de sous-division de la côte, où les sédiments circulent au sein de limites fixées, en général définies par des promontoires.

Chambre magmatique : chaudron de roches fondues sous la surface de la Terre, contenant des matières qui peuvent atteindre la surface sous forme de matières fondues, solides ou de gaz.

Changements hydrologiques : changements dans la vitesse et le débit du flux d'eau dans les canaux et à la surface, causant des changements dans la distribution des matières non-consolidées en aval.

Cirque : grande forme prenant l'aspect d'un amphithéâtre, en haut d'une vallée montagneuse, formée par l'érosion glaciaire et l'action du gel, et la défaillance ultérieure des murs rocheux adjacents.

Conserver la scène de la nature : concept relativement moderne, où la faune et la flore sont les « acteurs », et la géodiversité est la « scène » sur laquelle elles s'épanouissent. Ce concept souligne l'importance de l'interdépendance entre la biodiversité et la géodiversité, et leur conservation coordonnée.

Cristaux : solide homogène avec des faces planes naturellement formées. Les minéraux peuvent présenter des cristaux de différentes tailles et formes géométriques.

Dépôts : (a) chute de particules du fait de la gravité, lesquelles étaient portées par l'eau, la glace ou le vent ; (b) précipitation de minéraux issus d'une solution.

Dévonien : voir *Échelle des temps géologiques*

Discordance : discontinuité dans les roches indiquant un intervalle de temps (pouvant être de plusieurs millions d'années) entre les strates inférieures et supérieures.

Dissolution : dissolution de minéraux et de roches dans des eaux naturelles.

Doline : dépression fermée de dimensions modérées (<1 km de large ou de profondeur), qui est l'unité fondamentale de relief dans de nombreux *terrains karstiques*, et a une fonction hydrologique similaire à un bassin versant.

Eau souterraine : eau stockée et circulant à travers les roches et les sédiments, sous la surface terrestre, approvisionnée par de l'eau s'infiltrant depuis la surface, ou par des sources concentrées comme un cours d'eau enfoncé. Pendant les périodes sans précipitations, les eaux de surface sont alimentées par les eaux souterraines.

Échelle des temps géologiques : système de datation chronologique des strates géologiques (stratigraphie). Elle est utilisée par les scientifiques des sciences de la Terre pour décrire l'époque et les relations des événements dans l'histoire de la Terre, mesurée en millions et multiples de millions d'années. © Commission internationale de la stratigraphie, mars 2020, version reproduite avec autorisation.

Écosystème : complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non-vivant qui par leur interaction, forment une unité fonctionnelle. C'est la somme totale de tous les processus abiotiques et biotiques en cours, comme les cycles biogéochimiques et la production primaire.

- *Fonctionnement de l'écosystème :* activités de vie collective des plantes, animaux et microbes, et effets que ces activités (alimentation, croissance, déplacement, rejet de déchets, etc.) ont sur les conditions physiques et chimiques de l'environnement.

- **Services écosystémiques** : bénéfices que les populations tirent des écosystèmes. Cela inclut l'offre de services, comme la production d'aliments et d'eau ; les services de régulation, comme le contrôle des inondations et des maladies ; les services culturels, comme les bénéfices spirituels, récréatifs et culturels ; et les services en soutien, comme les cycles de nutriments, qui maintiennent les conditions de vie sur Terre (Évaluation des écosystèmes du Millénaire, 2005). Les services écosystémiques sont fournis par la géodiversité et la biodiversité.

- **Structure d'écosystème** : architecture biophysique d'un écosystème ; composition et accord de tous les êtres vivants et de la matière physique non-vivante à un endroit.

Érosion : balayage de la surface terrestre par des forces naturelles, comme l'eau, la glace ou le vent.

Évaluation d'impact environnemental (EIE) : processus analytique réalisé avant toute prise de décision pour des projets de développement, afin d'éviter des conséquences négatives imprévues. Le processus inclut l'identification, la prévision, l'évaluation et l'atténuation des effets naturels, sociaux et autres effets pertinents sur l'environnement des propositions de développement.

Évaluation environnementale stratégique : processus d'aide à la décision systématique, destiné à garantir que les problématiques environnementales sont efficacement prises en compte dans la politique, la planification et la programmation.

Explosion Cambrienne : période de l'époque géologique (voir *Échelle des temps géologiques*) où une importante augmentation des espèces a été enregistrée dans les roches de cette époque.

Exposition : site ou endroit où les roches ou des sédiments plus tendres sont visibles en surface. Également appelé Affleurement.

Extinction : dans un contexte géologique, événement dans le passé distant où un nombre important d'espèces existantes a disparu du fait de causes naturelles.

Extrêmophiles : espèces pouvant supporter des conditions extrêmes, comme l'obscurité des grottes ou les températures très élevées associées à l'activité volcanique.

Flore proliférant avec l'éclairage : algues, mousses et plantes vasculaires qui poussent à la lumière artificielle dans les grottes touristiques (on parle aussi de « maladie verte »).

Fossé d'effondrement : dépression allongée bordée des deux côtés par des failles, dont les mouvements abaissent la surface terrestre par rapport aux terres avoisinantes. La vallée du Rift en Afrique de l'Est en est un bel exemple.

Fossile : trace organique ou vestige d'ancienne matière vivante enterrée par les processus naturels et ultérieurement préservée de façon permanente dans les roches.

Fumerolles : source chaude dans une zone volcanique émettant une eau et une vapeur très chaude et des gaz toxiques.

Géocconservation : conservation et gestion du géopatrimoine

Géodiversité : variété de roches, minéraux, fossiles, reliefs de terrain, sédiments et sols, ainsi que les processus naturels qui les forment et les altèrent. Cela inclut les caractéristiques et processus géologiques et géomorphologiques passés et présents qui retracent l'histoire de la Terre et l'évolution des formes de vie, tels que représentés dans l'histoire géologique, y compris les fossiles de plantes et d'animaux et leurs habitats.

Géologie : étude de la Terre dans son ensemble – son origine, sa structure, sa composition et son histoire – et nature des processus qui ont donné naissance à son passé et à son état présent.

Géomorphologie : étude des reliefs et des processus sur et immédiatement sous la surface de la Terre.

Géoparc : terme générique donné par une nation ou une région à une zone ayant un patrimoine géologique exceptionnel, à des fins de conservation et de promotion de son usage de façon durable. La plupart des Géoparcs ne sont pas des aires protégées, mais ils peuvent abriter des aires protégées. Voir également *Géoparcs mondiaux de l'UNESCO*.

Géoparcs mondiaux de l'UNESCO : territoires reconnus par l'UNESCO, où des sites et des paysages ayant une importance géologique internationale sont gérés dans un but global de protection, d'éducation et de développement durable. Les Géoparcs ne sont pas considérés comme des aires protégées, mais plutôt comme des outils pour impliquer les communautés et les entreprises.

Géopatrimoine : ces éléments, caractéristiques et processus de géodiversité, qu'ils soient seuls ou en association, sont considérés comme ayant une valeur significative pour des raisons intrinsèques, scientifiques, éducatives, culturelles, spirituelles, esthétiques, écologiques ou écosystémiques, qui en conséquence méritent d'être conservés. Le géopatrimoine constitue un héritage du passé, devant être conservé dans le présent et transmis pour le bénéfice des générations futures. Le géopatrimoine enregistre l'histoire cumulative de la Terre préservée dans ses roches et reliefs, comme dans les pages d'un livre. Il est représenté dans des endroits particuliers (voir géosites) et des objets particuliers (spécimens géologiques *in situ* et *ex situ* dans des collections de musées), qui sont fondamentaux pour notre connaissance de l'histoire de la Terre et de l'évolution de la vie.

Géopatrimoine déplaçable : fossiles, minéraux et roches ayant une valeur exceptionnelle, déplacés vers un lieu *ex situ*, par exemple une collection de musée, pour améliorer leur protection.

Géoscience : étude de l'évolution de la Terre et du statut actuel de ses aspects abiotiques. Le terme comprend la géologie, la géomorphologie, la géophysique, l'hydrologie et la géographie physique.

Géosensibilité : voir *sensibilité*.

Géosite : tout site ayant une caractéristique/processus unique, ou une variété de caractéristiques ou processus géologiques ou géomorphologiques dignes d'être protégés au nom de leur valeur scientifique. C'est un terme abrégé pour dire « sites géologiques » ou « sites géomorphologiques ».

Géosuivi (ou Suivi de la condition du site) : suivi des caractéristiques et processus particuliers pour évaluer l'état de santé de la composante intéressante d'un géosite, ou l'ensemble d'un système.

Géotourisme : tourisme durable basé sur les caractéristiques et processus géologiques et géomorphologiques d'une zone, et variable en taille – depuis un site spécifique, comme une grotte touristique, jusqu'à de vastes zones avec des paysages spectaculaires.



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2020/03



Eonothem / Eon		Erathem / Era		System / Period		Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	U/L	Meghalayan				present
				M	Northgrippian				0.0042
				L/E	Greenlandian				0.0082
			Upper						0.0117
			Pleistocene	U/L					0.129
				M	Chibanian				0.774
				L/E	Calabrian				1.80
		Neogene	Pliocene		Gelasian				2.58
					Piacenzian				3.600
			Miocene		Zanclean				5.333
					Messinian				7.246
					Tortonian				11.63
					Serravallian				13.82
					Langhian				15.97
					Burdigalian				20.44
					Aquitanian				23.03
		Paleogene	Oligocene		Chattian				27.82
					Rupelian				33.9
			Eocene		Priabonian				37.71
					Bartonian				41.2
					Lutetian				47.8
					Ypresian				56.0
			Paleocene		Thanetian				59.2
					Selandian				61.6
	Mesozoic	Cretaceous	Upper		Danian				66.0
					Maastrichtian				72.1 ± 0.2
					Campanian				83.6 ± 0.2
					Santonian				86.3 ± 0.5
					Coniacian				89.8 ± 0.3
					Turonian				93.9
			Lower		Cenomanian				100.5
					Albian				~ 113.0
					Aptian				~ 125.0
					Barremian				~ 129.4
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper		Hauterivian				~ 132.6
					Valanginian				~ 139.8
					Berriasian				~ 145.0
			Middle		Tithonian				152.1 ± 0.9
					Kimmeridgian				157.3 ± 1.0
					Oxfordian				163.5 ± 1.0
			Lower		Callovian				166.1 ± 1.2
					Bathonian				168.3 ± 1.3
					Bajocian				170.3 ± 1.4
			Lower		Aalenian				174.1 ± 1.0
					Toarcian				182.7 ± 0.7
					Pliensbachian				190.8 ± 1.0
					Sinemurian				199.3 ± 0.3
					Hettangian				201.3 ± 0.2
	Paleozoic	Triassic	Upper		Rhaetian				~ 208.5
					Norian				~ 227
					Carnian				~ 237
			Middle		Ladinian				~ 242
					Anisian				247.2
			Lower		Olenekian				251.2
					Induan				251.902 ± 0.024
			Permian		Changhsingian				254.14 ± 0.07
					Wuchiapingian				259.1 ± 0.5
	Paleozoic	Carboniferous	Guadalupian		Capitanian				265.1 ± 0.4
					Wordian				268.8 ± 0.5
					Roadian				272.95 ± 0.11
			Cisuralian		Kungurian				283.5 ± 0.6
					Artinskian				290.1 ± 0.26
					Sakmarian				293.52 ± 0.17
					Asselian				298.9 ± 0.15
			Pennsylvanian		Gzhelian				303.7 ± 0.1
					Kasimovian				307.0 ± 0.1
			Mississippian		Moscovian				315.2 ± 0.2
					Bashkirian				323.2 ± 0.4
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper		Serpukhovian				330.9 ± 0.2
					Visean				346.7 ± 0.4
					Tournaisian				358.9 ± 0.4
			Middle						
			Lower						
	Paleozoic	Triassic	Upper						
			Middle						
			Lower						
	Paleozoic	Carboniferous	Upper						
			Middle						
			Lower						
	Paleozoic	Triassic	Upper						
			Middle						
			Lower						

	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian	358.9 ± 0.4
				Frasnian	372.2 ± 1.6
			Middle	Givetian	382.7 ± 1.6
				Eifelian	387.7 ± 0.8
			Lower	Emsian	393.3 ± 1.2
				Pragian	407.6 ± 2.6
				Lochkovian	410.8 ± 2.8
		Silurian	Pridoli		419.2 ± 3.2
			Ludlow	Ludfordian	423.0 ± 2.3
				Gorstian	425.6 ± 0.9
			Wenlock	Homerian	427.4 ± 0.5
				Sheinwoodian	430.5 ± 0.7
			Llandovery	Telychian	433.4 ± 0.8
				Aeronian	438.5 ± 1.1
				Rhuddanian	440.8 ± 1.2
				Hirnantian	443.8 ± 1.5
	Ordovician	Upper	Katian		445.2 ± 1.4
			Sandbian		453.0 ± 0.7
		Middle	Darriwilian		458.4 ± 0.9
			Dapingian		467.3 ± 1.1
		Lower	Floian		470.0 ± 1.4
			Tremadocian		477.7 ± 1.4
	Cambrian	Furongian	Stage 10		485.4 ± 1.9
			Jiangshanian		~ 489.5
			Paibian		~ 494
		Miaolingian	Guzhangian		~ 497
			Drumian		~ 500.5
			Wuliuan		~ 504.5
		Series 2	Stage 4		~ 509
			Stage 3		~ 514
			Stage 2		~ 521
		Terreneuvian	Stage 1		~ 529
			Fortunian		541.0 ± 1.0

	Eonothem / Eon Erathem / Era System / Period	GSSP	GSSA	numerical age (Ma)
Precambrian	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	~ 635
			Cryogenian	~ 720
			Tonian	1000
		Meso-proterozoic	Stenian	1200
			Ectasian	1400
			Calymmian	1600
		Paleo-proterozoic	Statherian	1800
			Orosirian	2050
			Rhyacian	2300
	Archean	Neo-archean	Siderian	2500
				2800
				3200
		Meso-archean		3600
				4000
		Eo-archean		~ 4600
	Hadean			

Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Italic fonts indicate informal units and placeholders for unnamed units. Versioned charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Ratified Subseries/Subepochs are abbreviated as U/L (Upper/Late), M (Middle) and L/E (Lower/Early). Numerical ages for all systems except Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012), those for the Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (www.ccgw.org)



Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, J.-X. Fan (c) International Commission on Stratigraphy, March 2020

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2020-03.pdf>

- Geyser** : jet d'eau et de vapeur surchauffée depuis des sources souterraines dans des régions volcaniques actives ou récemment actives.
- Glaciation** : période de climat froid, entraînant une importante croissance des nappes de glace et des glaciers de montagne. Les âges de glace incluent des épisodes intensément froids (glaciaires) qui alternent avec des périodes plus chaudes (interglaciaires) lorsqu'il y a une réduction de la couverture glaciaire.
- Glacier** : neige compressée jusqu'à former une masse solide de glace se déplaçant avec la gravité. Il prend plusieurs formes. Les calottes glaciaires et les nappes de glace sont de grandes étendues de glace qui couvrent de vastes zones comme l'Antarctique et le Groenland, et qui peuvent se former à plus petite échelle, par ex. en Islande et à Svalbard. Les glaciers de vallée remplissent des vallées préexistantes et même les agrandissent souvent, rendant leurs pentes plus escarpées comme dans les Andes et les Alpes européennes par exemple.
- Gneiss** : roche métamorphique dont la formation est causée par une chaleur et une pression intenses sur les roches préexistantes.
- Granite** : roche ignée à grains grossiers, formée sous la surface de la Terre après le lent refroidissement du magma, formant des minéraux comme le quartz et le feldspath, majoritairement.
- Infiltration** : Processus par lequel l'eau entre et pénètre dans le sol.
- Ingénierie « lourde »** : utilisation de méthodes et de techniques d'ingénierie lourde, qui ignorent en partie ou en totalité les processus naturels en vigueur sur un site ou dans une zone, ce qui peut créer une situation non-naturelle. (Voir *Ingénierie « douce »*)
- Ingénierie « tendre »** : utilisation d'approches naturelles, comme la reconstitution de plages ou la régénération de dunes, afin d'éviter la construction de structures fixes (par ex. défenses à base de blocs de pierre). Elle s'oppose à l'*ingénierie « lourde »*.
- Karst** : suite de reliefs, incluant souvent des cours d'eau enfouis, des reculées et vallées sèches, des dépressions fermées (appelées *dolines*, et poljés à fond plat plus grandes), des grottes ; et formés essentiellement par processus de *dissolution* sur des roches qui ont une forte solubilité dans les eaux naturelles.
- Lahar** : coulée de boue ou de débris composée de matières *pyroclastiques*, de débris rocheux et d'eau, causée par une éruption volcanique. Les matières s'écoulent du volcan, en général le long d'une vallée fluviale.
- Lave** : matériel fondu coulant sur le sol et dans l'eau, projeté par un volcan ou une cheminée à la surface de la Terre. La lave se solidifie lorsqu'elle refroidit et prend différentes formes, comme celles décrites par les termes hawaïens aa (lave brisée) et pahoehoe (lave cordée).
- Matière parente** : roche ou sédiment source, à partir duquel une matière de recouvrement, notamment les sols, est dérivée.
- Minéral** : substance non-organique dotée d'une composition chimique caractéristique et d'un arrangement arrêté d'atomes, d'ions ou de molécules, formé par les processus géologiques naturels.
- Minéralogie** : étude des minéraux - leur origine, formes et composantes.
- Moraines** : reliefs sur les bords de, ou à proximité, des glaciers et inlandsis (nappes de glace), comprenant des sédiments non-consolidés de toutes les tailles, depuis des argiles jusqu'à des blocs. Les moraines finales se trouvent à l'avant du glacier, et les moraines latérales sur les côtés.
- Nuée ardente** : matière rejetée (pierres ponce, cendres, etc.) dans l'atmosphère du fait de l'activité volcanique, et qui vient éventuellement se poser sur la surface de la Terre.
- Oolithe** : calcaire formé d'oolithes ; particules sphériques nées de l'accumulation autour d'un noyau en eau profonde.
Affleurement : endroit où la roche est exposée à la surface et non-couverte par le sol, la végétation ou des structures construites.
- Paléontologie** : étude des fossiles des plantes et animaux, offrant des connaissances sur l'origine et l'évolution de la vie sur Terre, et sur les anciens milieux.
- Périglaciaire** : décrit le climat, les processus naturels et les reliefs dans les milieux froids, non-glaciaires dans les régions montagneuses ou polaires. Ce sont les processus associés aux alternances de gel et dégel du sol, ce qui entraîne la formation de sols polygonaux et de sols structurés (cercles de pierres, sols striés), le lent mouvement glissant de débris rocheux et l'effondrement de faces rocheuses.
- Période de l'Ediacarien** : voir Échelles de temps géologiques.
- Permafrost** : sol continuellement gelé, qui se trouve essentiellement dans les régions polaires et en montagnes de haute altitude.
- Permien** : voir *Échelle des temps géologiques*.
- Pétrologie** : étude de tous les aspects des roches, y compris les composantes minérales, les textures, la structure et les origines.
- Phénomène hydrothermal** : phénomène se produisant lorsque l'activité géothermique atteint la surface terrestre sous forme d'eau et de vapeur surchauffée. Il interagit avec les matières volcaniques pour former des caractéristiques comme des sources chaudes, des geysers, des mares de boue et des fumerolles.
- Plan d'action pour la géodiversité** : plan qui définit des objectifs clairs à long terme, et définit des cibles et actions mesurables à court terme pour conserver et mettre en valeur la géodiversité et le géopatrimoine d'une zone particulière. Il identifie également les ressources humaines et financières nécessaires pour le réaliser. De tels plans peuvent également aider à l'intégration de la géodiversité et du géopatrimoine dans la gestion de la conservation des différentes catégories d'aires protégées.
- Plans d'action locaux pour la géodiversité** : plans qui définissent un cadre, des principes directeurs et des priorités pour garantir la conservation du géopatrimoine et les réseaux de géosites à l'échelle régionale ou locale.
- Pléistocène** : voir *Échelle des temps géologiques*.

Point stratotypique mondial (PSM) : unité standard utilisée dans l'identification des sections types et des points de référence pour définir les limites des étages dans l'échelle des temps géologiques selon les normes internationalement acceptées. La Commission internationale de stratigraphie (ICS), une Commission de l'Union internationale des sciences géologiques (IUGS), recherche actuellement un accord international sur la définition d'unités standard mondiales. Le site où un PSM est identifié et approuvé est marqué par un clou d'or symbolique.

Pré-Cambrien : voir *Échelle des temps géologiques*.

Processus actifs : processus abiotiques naturels qui sont actifs dans la formation et l'évolution des reliefs et matériaux : dépôts de sable le long des côtes, dépôts de sable et de graviers en marge des glaciers et calottes glaciaires, éruptions volcaniques, glissements de terrain et érosion par exemple.

Processus fluviaux : processus terrestres naturels basés sur le mouvement de l'eau, généralement dans les cours d'eau.

Quartz : minéral du groupe des silicates, que l'on trouve dans les *roches ignées*, *métamorphiques* et *sédimentaires*. C'est l'un des minéraux les plus courants sur Terre, et aussi l'une des principales composantes du sable dans les déserts et le long des côtes.

Quaternaire : voir *Échelle des temps géologiques*.

Radon : gaz radioactif naturel inerte, sans couleur et sans odeur, produit par la décomposition du thorium et de l'uranium dans certaines roches.

Réalignement géré : technique généralement appliquée aux côtes tendres de sable et autres matières non-consolidées, où la mer est autorisée à pénétrer plus avant dans les terres grâce à la suppression des structures construites par les humains, comme les murs ou les digues, et qui permet la formation de marais salants qui absorbent l'énergie des vagues. Cette technique est utilisée pour réinstaller un régime plus naturel sur les côtes.

Reconstitution de plage : apport artificiel de matériel, en général du sable, d'une source souvent offshore vers une plage, afin de maintenir la stabilité de la plage et de réduire l'érosion du littoral.

Reliefs : caractéristiques en surface ou souterraines formées par un processus naturel particulier, comme une moraine glaciaire, une dune de sable ou une grotte.

Reliefs dynamiques : reliefs évoluant constamment ou en déplacement, comme les dunes de sable dans les déserts et le long des côtes maritimes ; ou caractéristiques comme les bancs de graviers et de sable dans les lits de rivières, et les matières de surface instables de sols et de roches sur des pentes montagneuses escarpées.

Roches : matières solides sous forme minérale ou organique, faisant partie de la croûte terrestre. Selon leurs origines, elles se divisent en trois types principaux : *sédimentaires*, *ignées*, et *métamorphiques*.

Les *roches sédimentaires* sont formées de matières préexistantes par des matières tendres (sédiments), déposées par l'eau, la glace, ou le vent dans les cours d'eau, les lacs et les océans, ou sur la surface du sol, puis transformées en matières plus solides. Les *roches carbonatées*, comme le calcaire, la dolomie, et les *roches évaporites*, comme le gypse, l'anhydrite et le sel, sont des types particuliers de roches sédimentaires que l'on trouve dans les zones karstiques. Le *calcaire*, le grès et le mudstone sont des exemples courants de roches sédimentaires.

Les *roches ignées* ou *magmatiques* résultent de la lente solidification du magma sous la surface de la Terre, et sont appelées *roches intrusives* (par ex. le *granite*). Ces roches peuvent également être formées à la surface de la Terre du fait du refroidissement de la lave, associé à l'activité volcanique, et sont alors appelées *roches extrusives* (par ex. le basalte).

Les *roches métamorphiques* sont des roches auparavant formées par des processus sédimentaires ou ignées, qui ont été changées en différents minéraux et structures du fait de la chaleur et/ou de la pression souvent associées au mouvement des plaques tectoniques, ou du contact avec le magma. Le marbre par ex. est du calcaire métamorphosé.

Roches carbonatées : voir *Roches*.

Roches cristallines : vieux terme faisant référence aux roches comprenant des cristaux formés par un lent refroidissement, après avoir été soumis à une chaleur et/ou une pression intense. Il peut s'agir de *roches métamorphiques*, comme le gneiss, ou de roches ignées, comme le granite (voir définitions sur les types de roches spécifiques plus loin).

Roches évaporites : voir *Roches*.

Roches ignées (ou magmatiques) : voir *Roches*.

Roches métamorphiques : voir *Roches*.

Roches sédimentaires : voir *Roches*.

Roche tendre : roche qui s'érode relativement facilement, par l'eau, la glace ou le vent. Certains grès en sont un bon exemple.

Ruissellement de surface : flux dispersé d'eau sur la surface terrestre, avant qu'il ne soit canalisé.

Sédiment : matière non-consolidée tendre qui peut prendre diverses tailles, depuis les argiles et limons les plus fins jusqu'aux sables et galets plus gros, ou encore des gros blocs.

Sensibilité : mesure de la susceptibilité, solidité, ou fragilité d'une caractéristique ou d'un processus particulier face aux dommages, qu'ils soient naturels ou causés par l'humain, et degré avec lequel il est affecté ou il répondra.

Signification : expression comparative basée sur la spécialité ou la rareté, ou le meilleur exemple d'une caractéristique ou d'un processus.

Siliceux : Substance dont la composante principale est la silice (SiO₂).

Silurien : voir *Échelle des temps géologiques*.

Sites d'exposition : caractéristiques géologiques spatialement étendues sous la surface terrestre, activement renouvelées par l'érosion ou, si un site ou exposition est perdu, un autre pourrait potentiellement être creusé à côté. Ils incluent les expositions dans les carrières actives et inactives, les falaises côtières et fluviales, les tracés de routes et de voies ferrées, et les affleurements rocheux naturels.

Sites d'intégrité : sites géomorphologiques qui incluent des caractéristiques statiques (inactives) comme les reliefs glaciaires du Pléistocène, et des caractéristiques actives comme celles formées par les processus fluviaux, côtiers, karstiques et glaciaires contemporains.

Sites finis : caractéristiques de portée limitée, qui seront épuisées et endommagées si l'une de ses ressources est retirée ou perdue. Citons comme exemples les sites géologiques avec des roches porteuses de fossiles de portée limitée, ou un dépôt de filons de minerais.

Sol : matériel composé de particules minérales et de débris organiques, qui recouvre le substrat rocheux et soutient la croissance de plantes à racines.

Solidité : capacité d'une caractéristique ou d'un processus du géopatrimoine à supporter les dommages provenant de causes naturelles ou de l'intervention humaine.

Solutions fondées sur la nature : actions pour protéger, gérer durablement et restaurer les écosystèmes naturels ou modifiés qui répondent aux défis sociétaux de façon efficace et adaptative, et offrent un bien-être pour les humains ainsi que des avantages pour la biodiversité.

Suivi de la condition du site : voir *Géosuivi*.

Systèmes actifs : caractéristiques et formes (dunes de sable, vallées fluviales, mangroves et sols) qui sont encore en développement et en évolution du fait de processus naturels.

Tremblement de terre : tremblement violent et soudain du sol, qui cause en général de grandes destructions, causé par des mouvements de la croûte terrestre ou des processus volcaniques explosifs.

Spéléologie : étude scientifique des grottes, de leur formation et processus.

Spéléothèmes : terme général pour désigner tous les dépôts minéraux formés dans les grottes. La plupart sont formés de calcite, et le processus de précipitation est l'inverse de celui du processus de *dissolution* du *calcaire*. Les formes habituelles incluent les stalactites et stalagmites et les coulées stalagmitiques.

Stratigraphie : branche de la géologie étudiant la forme, l'arrangement, la répartition géographique, la succession chronologique et la corrélation des strates rocheuses avec l'origine sédimentaire.

Tectonique des plaques : théorie unificatrice associant la dérive des continents, l'expansion des fonds océaniques, l'activité volcanique et sismique, et la structure crustale. Les blocs de roches de la Terre en surface et sous la mer se répartissent en huit plaques majeures et plusieurs petites plaques mineures intérieurement rigides, qui sont en mouvement. Le terme fait également référence à l'étude de leurs mouvements relatifs au fil du temps dans la formation des continents et des océans. Les marges des plaques individuelles prennent diverses formes ; les plus importantes pour la géoconservation terrestre sont là où les plaques entrent en collision, ou bien là où elles se séparent. Exemples de plaques en collision : les plaques Pacifique et Nord-Américaine, les plaques Pacifique et Sud-américaine, les plaques Africaine et Eurasienne, et les plaques Indienne et Eurasienne, qui ont toutes joué un rôle fondamental dans l'évolution des principaux systèmes montagneux et l'activité volcanique sur Terre. Ailleurs, les plaques se séparent, comme par exemple sur terre en Islande, et sous la mer le long de la crête médio-Atlantique.

Terrane : morceau de terre où les roches et structures sont d'âge et de type similaires, avec une histoire géologique récente similaire.

Tor : relief rocheux autonome formé *in situ* par l'érosion des roches plus faibles avoisinantes et ses pentes descendantes.

Tsunami : série de grandes vagues, se déplaçant rapidement sur la surface de la mer, causée par des tremblements de terre associés au mouvement en bordure des plaques tectoniques.

Vallée en U : vallée glaciaire, avec des pentes escarpées et un fond assez plat formé par l'érosion glaciaire.

Valeur : La valeur de géopatrimoine d'un site ou spécimen possède plusieurs composantes. *Valeur intrinsèque* : valeur importante en elle-même, quelle que soit l'appréciation humaine. *Valeur scientifique* : valeur pour la recherche et l'éducation. *Valeur esthétique, culturelle et spirituelle* : valeur faisant référence aux connexions et interactions humaines et à l'appréciation du géopatrimoine. *Valeurs écologiques* : valeur liée au soutien à la biodiversité et au fonctionnement des écosystèmes. La diversité des substrats, des mosaïques topographiques et de la formation du sol, ainsi que des processus comme les régimes hydriques, l'apport en sédiments, l'érosion et les dépôts, sont la base pour les habitats et les espèces, et le fonctionnement des écosystèmes. La *valeur des biens environnementaux* et services écosystémiques est liée aux bénéfices directs et indirects que les humains reçoivent du milieu naturel et du fonctionnement correct des écosystèmes.

Volcan : Structure formée par des matériaux atteignant la surface de la croûte terrestre ou le fonds marin, par une cheminée naturelle ou une fracture à la surface de la Terre approvisionnée par les profondeurs de la Terre. Les matériaux qui surgissent par les fractures ou les cheminées sont soit fondus (*lave*, parfois avec des cristaux entraînés), soit solides (*nuées ardentes*), soit gazeux (vapeur d'eau, gaz acides). Les éruptions peuvent être lentes et effusives ou brusques et explosives. Les grands volcans sont souvent appelés volcans centraux, du fait de leur taille dans un système, ou super volcans du fait de leur puissance éruptive avec des nuées ardentes rejetées à grande échelle dans le monde entier par le biais de la circulation atmosphérique. Les volcans sont parfois, mais pas toujours, associés aux mouvements en bordure des plaques tectoniques. La composition chimique des matériaux en éruption est très variable et va de l'acide à l'alcalin.

Vulnérabilité : mesure de probabilité d'un dommage à une géocaractéristique ou processus, lequel peut être naturel ou anthropique. Elle est souvent déterminée en prenant en compte la sensibilité au changement et la capacité d'adaptation au changement.

Références

- Anderson, M. G. and Ferree, C. E. (2010). 'Conserving the stage: Climate change and the geophysical underpinnings of species diversity'. *PLoS ONE* 5:e11554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011554>
- Anderson, M. G., Clark, M. and Sheldon, A. O. (2014). 'Estimating climate resilience for conservation across geophysical settings'. *Conservation Biology* 28:959–970. <https://doi.org/10.1111/cobi.12272>
- Appleton, P., Buttler, C., and Roberts, R. (2015). 'Making the most of Brymbo's plant fossils'. *Earth Heritage* 43:21–23. <http://www.earthheritage.org.uk/wp/wp-content/uploads/2018/03/eh43F.pdf>
- Ballantyne, C. K. (2018). *Periglacial Geomorphology*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell. <https://www.wiley.com/en-us/Periglacial+Geomorphology-p-9781405100069>
- Barthlott, W., Mutke, J., Rafiqpoor, M. D., Kier, G., and Kreft, H. (2005). 'Global centres of vascular plant diversity'. *Nova Acta Leopoldina* 92:61–83. https://www.researchgate.net/publication/215672852_Global_centers_of_vascular_plant_diversity
- Benn, D. I. and Evans, D. J. A. (2010). *Glaciers and Glaciation*. London, UK: Hodder Éducation. <https://www.amazon.co.uk/Glaciers-Glaciation-Hodder-Arnold-Publication/dp/0340905794>
- Bernbaum, E. (1997). *Sacred Mountains of the World*. Berkeley, California: University of California Press. <https://www.worldcat.org/title/sacred-mountains-of-the-world/oclc/37533947>
- BirdLife/FFI/IUCN/WWF. (2014). *Extraction and Biodiversity in Limestone Areas*. Joint Briefing Paper. <https://www.birdlife.org/sites/default/files/Extraction-and-Biodiversity-in-Limestone-Areas.pdf>
- Bollati, I., Smiraglia, C. and Pelfini, M. (2013). 'Assessment and selection of geomorphosites and trails in the Miage Glacier area (Western Italian Alps)'. *Environmental Management* 51:951–967. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9995-2>
- Boon, J. and Calder, J. (2008). 'Communicating the natural and cultural history of the Joggins Fossil Cliffs: A demonstration of innovation and collaboration'. *Atlantic Geology* 44(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2577444120300046>
- Borrini-Feyerabend, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Pathak Broome, N., Phillips A. et Sandwith T. (2014). *Gouvernance des aires protégées : de la compréhension à l'action*. Collection des lignes directrices sur les meilleures pratiques pour les aires protégées N°20, Gland, Suisse: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/44864>
- Borrini-Feyerabend, G. et Hill, R. (2020). 'La gouvernance pour la conservation de la nature'. In : Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éds.). *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press. <https://doi.org/10.22459/GGAP.07>
- Brandolini, P. and Pelfini, M. (2010) 'Mapping geomorphological hazards in relation to geotourism and hiking trails'. In: G. Regolini-Bissig and E. Reynard (eds.). *Mapping Geoheritage*, pp. 31–45. Lausanne, Switzerland: Institut de Géographie, Géovisions 35. http://www.unil.ch/igd/files/live/sites/igd/files/shared/Geovisions/Geovisions35/Geovisions35_IGUL_3_Brandolini%20&%20Pelfini.pdf
- Brantley, S., and Myers, S. (2000). 'Mount St. Helens: From the 1980 eruption to 2000'. *USGS Fact Sheet* 036-00. <https://pubs.usgs.gov/fs/2000/fs036-00/>
- Bridgland, D.R. (2013). 'Geoconservation of Quaternary sites and interests'. *Proceedings of the Geologists' Association* 124:612–624. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.10.004>
- Brilha, J. (2016). 'Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: A review'. *Geoheritage* 8:119–134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Brilha, J. (2018). 'Geoheritage: inventories and evaluation'. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 69–85. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00004-6>
- British Caving Association. (Undated). *Minimal Impact Caving Guidelines*. https://british-caving.org.uk/wiki3/lib/exe/fetch.php?media=conservation_access:micg.pdf
- British Columbia. (2003). *Karst Management Handbook for British Columbia*. Victoria, BC, Canada: British Columbia Ministry of Forests. <https://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/Karst-Mgmt-Handbook-web.pdf>
- British Columbia. (2020). *Online Karst Management Training Module*. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/forestry/managing-our-forest-resources/managed-resource-features/best-practices-for-karst-management-training-module>
- Brocx, M. and Semeniuk, V. (2007). 'Geoheritage and geoconservation – history, definition, scope and scale'. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 90:53–87. https://www.researchgate.net/publication/285012358_Geoheritage_and_geoconservation_-_History_definition_scope_and_scale

- Brocx, M. and Semeniuk, V. (2011). 'Assessing geoheritage values: A case study using Leschenault Peninsula and its estuarine lagoon, south-western Australia'. *Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales* 132:115–130.
https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/18640/1/assessing_geoheritage_values.pdf
- Brocx, M. and Semeniuk, V. (2015). 'Using the Geoheritage Tool-Kit to identify inter-related geological features at various scales for designating geoparks: Case studies from Western Australia'. In: E. Errami, M. Brocx, and V. Semeniuk (eds.). *From Geoheritage to Geoparks: Case Studies from Africa and Beyond*, pp. 245–259. Cham, Switzerland: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-10708-0_17
- Brocx, M., Semeniuk, V. and Percival, I. G. (2019). 'Global geoheritage significance of Ordovician stratigraphy and sedimentology in the Cliefden Caves area, central western New South Wales'. In: M. Brocx, V. Semeniuk, and K. Meney (eds.). Thematic Issue on Geoheritage and Geoconservation in Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*: 66(6).
<https://doi.org/10.1080/08120099.2019.1569128>
- 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: Scottish Natural Heritage. <https://www.nature.scot/sites/default/files/2018-09/Publication%202013%20-%20SNH%20Commissioned%20Report%20590%20-%20%20Assessing%20the%20sensitivity%20of%20geodiversity%20features%20in%20Scotland's%20seas%20to%20pressures%20associated%20with%20human%20activities.pdf>
- Bruneau, P.M.C., Gordon, J.E. and Rees, S. (2011). 'Ecosystem sensitivity and responses to climate change: Understanding the links between geodiversity and biodiversity at the landscape scale'. *JNCC Report No. 450*.
http://archive.jncc.gov.uk/PDF/jncc450_FINALweb.pdf
- Bruno B., and Wallace, A. (2019). 'Interpretive panels for geoheritage sites: Guidelines for design and evaluation'. *Geoheritage* 11:1315–1323. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00375-0>
- Canesin, T.S., Brilha, J. and Díaz-Martínez, E. (2020). 'Best practices and constraints in geopark management: Comparative analysis of two Spanish UNESCO Global Geoparks'. *Geoheritage* 12:14 <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00435-w>
- Carcavilla Urquí L., López Martínez J. and Durán Valsero J.J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidade: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Cuadernos del Museo Geomineiro, No 7. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
https://www.researchgate.net/publication/305322607_VALORACION_DEL_PATRIMONIO_GEOLOGICO_EN_EUROPA
- Casadevall, T., Tormey, D., and Richards, J. (2019). *World Heritage Volcanoes: Classification, gap analysis, and recommendations for future listings*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/48448>
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.07.en>
- Cayla, N., Hoblea, F., and Reynard, E. (2014). 'New digital technologies applied to the management of geoheritage'. *Geoheritage* 6:89–90. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0118-8>
- Chevalier, M. (1969). *Dictionnaire des symboles. Mythes, rêves, coutumes, gestes, formes, figures, couleurs, nombres*. Vol. 3: PIE à Z. Paris: Ed. Seghers et Ed. Jupiter.
<https://www.abebooks.co.uk/book-search/title/dictionnaire-des-symboles/author/chevalier-gheerbrant/sortby/3/>
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.-X. (2013). 'The ICS International Chronostratigraphic Chart'. *Episodes* 36: 199–204. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2013/v36i3/002>
- Cohen, S., Dengate, J., Morrell, L. et Lee, K. (2020). Les médias et les aires protégées. In : Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éd.) *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press.
<https://doi.org/10.22459/GGAP.15>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., and Maginnis, S. (eds). (2016). *Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Comer, P.J., Pressey, R.L., Hunter, M.L., Schloss, C.A., Buttrick, S.C., Heller, N.E., Tirpak, J.M., Faith, D.P., Cross, M.S. and Shaffer, M.L. (2015). 'Incorporating geodiversity into conservation decisions'. *Conservation Biology* 29:692–701.
<https://doi.org/10.1111/cobi.12508>
- Conservation Measures Partnership. (2013). *Open Standards for the Practice of Conservation*.
<https://www.conservationmeasures.org/version-4-0-of-the-conservation-standards-is-here/>
- Cooney, R. (2004). *The Precautionary Principle in Biodiversity Conservation and Natural Resource Management: An Issues Paper for Policy-makers, Researchers and Practitioners*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.
<https://portals.iucn.org/library/node/8528>
- Cooney, R. and Dickson, B. (2005). *Biodiversity and the Precautionary Principle: Risk and Uncertainty in Conservation and Sustainable Use*. London: Earthscan. <https://portals.iucn.org/library/node/8773>
- Crofts, R. (2014). 'Promoting geodiversity: Learning lessons from biodiversity'. *Proceedings of the Geologists' Association* 125:263–266. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.03.002>

- Crofts, R. (2018). 'Putting geoheritage on all agendas'. *Geoheritage* 10(2):231–238. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0239-y>
- Crofts, R. (2019). 'Linking geoconservation with biodiversity conservation in protected areas'. *International Journal of Geoheritage and Parks* 7:211–217. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.12.002>.
- Crofts, R. and Gordon, J.E. (2014). 'Geoconservation in protected areas'. *PARKS* 20:61–76. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2014.PARKS-20-2.RC.en>
- Crofts, R. et Gordon, J.E. (2020). 'Géoconservation dans les aires protégées'. In : Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éds.) *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press. <https://doi.org/10.22459/GGAP.18>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I.A., Brauman, K. A., et al. (2018). 'Assessing nature's contributions to people: Recognizing culture, and diverse sources of knowledge, can improve assessments'. *Science* 359:270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Digne Declaration International Declaration of the Rights of the Memory of the Earth. (1991). <http://www.geoparchauteprovence.com/les-g%C3%A9oparcs/d%C3%A9claration-internationale/texte-d%C3%A9claration/>
- Dingwall, P., Weighell, T. and Badman, T. (2005). *Geological World Heritage: A Global Framework*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/12797>
- Dorset and East Devon Coast World Heritage Site. (2011). *Promoting Responsible Fossil Collecting*. Charmouth, Dorset, UK: Dorset and East Devon Coast World Heritage Site. <https://jurassiccoast.org/what-is-the-jurassic-coast/world-heritage/looking-after-the-jurassic-coast/promoting-responsible-fossil-collecting/>
- Drew D. and Hötzel, H. (eds.). (1999). *Karst Hydrology and Human Activities*. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema. <https://www.worldcat.org/title/karst-hydrogeology-and-human-activities-impacts-consequences-and-implications/oclc/41444640>
- Dudley, N. (Éditeur) (2008). *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. Gland, Suisse : UICN. x +96pp. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.fr>
- Dunlop, L., Larwood, J.G. and Burek, C.V. (2018). 'Geodiversity action plans—a method to facilitate, structure, inform and record action for geodiversity'. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 53–66. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00003-4>
- Ehlers, J., Gibbard, P. L. and Hughes, P.D. (2011). *Quaternary Glaciations—Extent and Chronology: A Closer Look*. Amsterdam: Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/quaternary-glaciations-extent-and-chronology/ehlers/978-0-444-53447-7>
- Ellis, N. (2004). *Common Standards Monitoring Guidance for Earth Science Sites*. Peterborough, UK: Joint Nature Conservation Committee. jncc.defra.gov.uk/pdf/CSM_earth_science.pdf
- Ellis, N. (2008). 'A history of the Geological Conservation Review'. In: C.V. Burek and C.D. Prosser (eds.). *The History of Geoconservation*, pp. 123–135. Special Publications No. 300. London: The Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP300.10>
- Ellis, N. (2011). 'The Geological Conservation Review (GCR) in Great Britain: Rationale and methods'. *Proceedings of the Geologists' Association* 122:353–362. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.03.008>
- English Geodiversity Forum. (2014). *Geodiversity Charter for England*. <http://www.englishgeodiversityforum.org/Downloads/Geodiversity%20Charter%20for%20England.pdf>
- English Nature. (2004). *Local Geodiversity Action Plans. Sharing Good Practice*. Peterborough, UK: Natural England. <http://www.publications.naturalengland.org.uk/publication/76016?category=30050>
- Errami, E., Brocx, M., Semeniuk, V. and Ennih, N. (2015). 'Geosites, sites of special scientific interest, and potential geoparks in the Anti-Atlas (Morocco)'. In: E. Errami, M. Brocx, and V. Semeniuk (eds.). *From Geoheritage to Geoparks: Case Studies from Africa and Beyond*, pp. 57–79. Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10708-0_4
- Fang, R., Simonson, L. and Zhixin, P. (2013). 'Interpretation of geoheritage for geotourism: A comparison of Chinese geoparks and national parks in the United States'. *Czech Journal of Tourism* 2: 10–125. <https://doi.org/10.2478/cjot-2013-0006>
- Ferrero, E., Giardino, M., Lozar, F., Giordano, E., Belluso, E. and Perotti, L. (2012). 'Geodiversity action plans for the enhancement of geoheritage in the Piemonte region (north-western Italy)'. *Annals of Geophysics* 55:487–495. https://www.researchgate.net/publication/267383078_Geodiversity_action_plans_for_the_enhancement_of_geoheritage_in_the_Piemonte_region_North-Western_Italy
- Feuillet, T. and Sourp, E. (2011). 'Geomorphological heritage of the Pyrenees National Park (France): Assessment, clustering, and promotion of geomorphosites'. *Geoheritage* 3:151–162. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0020-y>
- Finney, S.C. and Hilario, A. (2018). 'GSSPs as international geostandards and as global geoheritage'. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 169–180. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00010-1>
- Ford, D.C. and Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester, UK: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>

- Fuertes-Gutiérrez, I. and 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. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0012-y>
- Fuertes-Gutiérrez I. and Fernández-Martínez E. (2012). 'Mapping geosites for geoheritage management: A methodological proposal for the Regional Park of Picos de Europa (León, Spain)'. *Environmental Management* 50:789–806. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9915-5>
- Garcia, M. G. M. (2019). 'Ecosystem services provided by geodiversity: preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the state of São Paulo, Southeastern Brazil.' *Geoheritage* 11:1257–1266. link.springer.com/article/10.1007/s12371-019-00383-0
- García-Cortés, A., Vegas, J., Carcavilla, L. and 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: 1272–1275. <http://www.igme.es/patrimonio/publicaciones/congresos/Garcia%20Cortes%20et%20al%202012%20-%20Sistema%20de%20indicadores%20para%20estado%20conservacion%20PG.pdf>
- Gardner, L. (2009). *Protected Areas Management in the Caribbean: Core Themes for Education, Awareness, and Communication Programmes*. Curepe, Trinidad and Tobago: The Trust for Sustainable Livelihoods and WCPA Caribbean. <http://ess-caribbean.com/wp-content/uploads/publications/Protected%20Areas%20Education%20Themes%20in%20the%20Caribbean%202009.pdf>
- Gemmell, S. L. G., Hansom, J.D. and Hoey, T.B. (2001). *The Geomorphology, Conservation and Management of the River Spey and Spey Bay SSSIs, Moray*. Scottish Natural Heritage Research Survey and Monitoring Report No. 57. Edinburgh: Scottish Natural Heritage. https://www.researchgate.net/publication/222229721_Coastal_sensitivity_to_environmental_change_A_view_from_the_beach
- Geological Society of America. (2019). *NPS Geoscientists-in-the-Parks Program*. Boulder, CO: Geological Society of America. https://www.geosociety.org/GSA/Education_Careers/Field_Experiences/gip/GSA/fieldexp/gip.aspx
- Gillieson, D. (1996). *Caves: Processes, Development, and Management*. Oxford, UK: Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444313680>
- Gogin, I. Y. and Vdovets, M.S. (2014). 'Geosites of international significance in the UNESCO WHS Lena Pillars Nature Park (Sakha Republic, Russia)'. *Geoheritage* 6:173–184. <https://doi.org/10.1007/s12371-013-0089-1>
- Gordon, J. E. (2018). 'Mountain geodiversity: Characteristics, values and climate change'. In: C. Hoorn, A. Perrigo, and A. Antonelli (eds.). *Mountains, Climate and Biodiversity*, pp. 137–154. Chichester, UK: Wiley.
- Gordon, J.E. and Barron, H.F. (2011). *Scotland's Geodiversity: Development of the Basis for a National Framework*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 417. Edinburgh: Scottish Natural Heritage. http://www.parliament.scot/S3_PublicPetitionsCommittee/Submissions_09/09-PE1277H.pdf
- Gordon, J. E., Brooks, A.J., Chaniotis, P.D., James, B.D., Kenyon, N.H., Leslie, A.B., Long, D. and Rennie, A.F. (2016). 'Progress in marine geoconservation in Scotland's seas: Assessment of key interests and their contribution to marine protected area network planning'. *Proceedings of the Geologists' Association* 127:716–737. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2016.10.002>
- Goudie, A. and Seely, M. (2011). *World Heritage Desert Landscapes: Potential Priorities for the Recognition of Desert Landscapes and Geomorphological Sites on the World Heritage List*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/9818>
- Gradstein, F.M. and Ogg, J.G. (2012). 'The chronostratigraphic scale'. In: F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz and G.M. Ogg (eds.), *The Geological Time Scale 2012*, pp. 31–42. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00002-0>
- Gray, M. (2011). 'GSSPs: The case for a third, internationally recognised, geoconservation network'. *Geoheritage* 3:83–88. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0028-3>
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*, 2nd. ed. Chichester, UK: Wiley-Blackwell. <http://bcs.wiley.com/he-bcs/Books?action=index&itemId=0470742143&bcsId=8369>
- Gray, M. (2018). 'Ecosystem services'. In: B. Vogel, K.S. Woo, R. Grunewald, R. Crofts, and G. Stolpe. (eds.). *Global Geoheritage: International Significance and Biodiversity Values—Workshop Proceedings*, pp. 39–43. BfN Skripten 500. Leipzig: German Federal Agency for Nature Conservation. <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript500.pdf>
- Griscom, B.W., Adams, J. and Ellis, P.W. (2017). 'Natural climate solutions'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Gross, J. E., Woodley, S., Welling, L.A., and Watson, J.E.M. (eds.). (2016). *Adapting to Climate Change: Guidance for Protected Area Managers and Planners*. Best Practice Protected Areas Guidelines Series No. 24. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.PAG.24.en>
- Groupe de travail sur les AMCE [Autre mesure de conservation efficace par zone] de la CMAP-IUCN [Commission mondiale des aires protégées-Union internationale pour la conservation de la nature] (2020). *Reconnaissance et signalement des autres mesures de conservation efficaces par zone*. Gland, Suisse : IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.PATRS.3.fr>
- Groves, C., and Game, E.T. (2016). *Conservation Planning: Informed Decisions for a Healthier Planet*. Greenwood Village, CO, États-Unis: Roberts and Co. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-016-0469-4>

- Groves, C.R., Game, E.T., Anderson, M.G., Cross, M., Enquist, C., Ferdaña, Z., Girvetz, E., Gondor, A., Hall, K.R., Higgins, J., Marshall, R., Popper, K., Schill, S., Shafer, S.L. (2012). 'Incorporating climate change into systematic conservation planning'. *Biodiversity Conservation* 21:1651–1671. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0269-3>
- Gunn, J. (ed.). (2004). *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York: Fitzroy Dearborn. <https://doi.org/10.4324/9780203483855>
- Gunn, J. (2020). Karst groundwater in UNESCO protected areas: a global overview. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02206-x>
- Ham, S. (2013). *Interpretation: Making a Difference on Purpose*. Cape Town, South Africa: Fulcrum.
- Hilty, J., Worboys, G.L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., Carr, M., Pulsford I., Pittock, J., White, J.W., Theobald, D.M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J.E.M., Ament, R., et Tabor, G.M. (2020). *Lignes directrices pour la conservation de la connectivité par le biais de réseaux et de corridors écologiques*. Lignes directrices des meilleures pratiques pour les aires protégées No 30. Gland, Suisse : IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.fr>
- Hooke, R.L. (1994). 'On the efficacy of humans as geomorphic agents'. *GSA Today* 4:217–225.
- Hutton, J. (1795). *Theory of the Earth*. Edinburgh: William Creech.
- ICMM [International Council on Mining and Metals]. (2003). *Mining and Protected Areas Position Statement*. London: ICMM. <http://www.icmm.com/en-gb/members/member-commitments/position-statements/mining-and-protected-areas-position-statement>
- International Commission on Stratigraphy. (Undated). *The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP)*. <https://web.archive.org/web/20090113224346/http://www.stratigraphy.org:80/over.htm>
- Irwin, A. (2018). Citizen science comes of age. *Nature* 562, 480–482. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07106-5>
- ISCA [International Show Caves Association]. (2014). *Recommended International Guidelines for the Development and Management of Show Caves*. http://www.uis-speleo.org/documents/Recommended_International_Guidelines_published_version.pdf.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. (2019a). *Special Report on Global Warming of 1.5 Degrees*. UN, New York: IPCC. <https://unfccc.int/topics/science/workstreams/cooperation-with-the-ipcc/ipcc-special-report-on-global-warming-of-15-deg>
- IPCC. (2019b). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. New York: IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/12/SROCC_FullReport_FINAL.pdf
- IUCN. (2015). *Strategic Framework for Capacity Development in Protected Areas and Other Conserved Territories 2015–2025*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/45827>
- Jacobs, P.J., Worboys, G.L., Mossfield, S. et Varcoe, T. (2020). 'Gestion des opérations et des actifs'. In : Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éds.). *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press. <https://doi.org/10.22459/GGAP.24>
- Jager, E. and Sanche, A. (2010). Setting the stage for visitor experiences in Canada's national heritage places. *The George Wright Forum* 27(2):180–190.
- JNCC [Joint Nature Conservation Committee]. (2019). *A Statement on Common Standards for Monitoring Protected Sites 2019*. Peterborough, UK: JNCC. <https://jncc.gov.uk/our-work/common-standards-monitoring/>
- Kääb, A., Reynolds, J.M. and Haeberli, W. (2005). 'Glacier and permafrost hazards in high mountains'. In: U.M. Huber, H.K.M. Bugmann, and M.A. Reasoner (eds.). *Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge*, pp. 225–234. Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3508-X_23
- Kiernan, K. (1996.) *Conserving Geodiversity and Geoheritage: The Conservation of Glacial Landforms*. Hobart, Tasmania, Australia: Forest Practices Unit. <https://catalogue.nla.gov.au/Record/2687484>
- Kirkbride, V. and Gordon, J. E. (2010). *The Geomorphological Heritage of the Cairngorm Mountains*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 348. Edinburgh: Scottish Natural Heritage. https://www.researchgate.net/publication/272795727_Kirkbride_V_and_Gordon_JE_2010_The_geomorphological_heritage_of_the_Cairngorm_Mountains
- Knudson, C., Kay, K., and Fisher, S. (2018). 'Appraising geodiversity and cultural diversity approaches to building resilience through conservation'. *Nature Climate Change* 8:678–685. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0188-8>
- Kresic, N. (2013). *Water in Karst: Management, Vulnerability, and Restoration*. New York: McGraw-Hill. https://www.researchgate.net/publication/263145223_Water_in_Karst_Management_Vulnerability_and_Restoration
- Lambiel, C. and Reynard, E. (2003). 'Impacts du développement d'un domaine skiable sur la morphologie glaciaire et périglaciaire: le cas de Verbier (Valais, Suisse)'. In: E. Reynard, C. Holzmann, D. Guex, and N. Summermatter (eds.). *Géomorphologie et Tourisme*. Institut de Géographie, Lausanne, Travaux et Recherches 24:19–33. <https://wp.unil.ch/hmg/publications/>
- Larwood, J.G. and Chandler, R.B., (2016). Conserving classic geological sections in the Inferior Oolite Formation, Middle Jurassic of the Wessex Basin, south-west England. *Proceedings of the Geologists' Association* 127:132–145. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2016.03.007>

- Leung, Y.-F., Spenceley, A., Hvenegaard, G. et Buckley, R. (éds.) (2019). *Gestion du tourisme et des visiteurs dans les aires protégées : Lignes directrices pour la durabilité*. Lignes directrices des meilleures pratiques dans les aires protégées No. 27, Gland, Suisse : UICN. xii + 120 pp. <https://portals.iucn.org/library/node/48403>
- Lounema, R. (2003). *Suomen kansan pyhät paikat*. [Sacred Sites of the Finnish People]. Hameenlinna, Finland: YhtyneetKuvalehdet Oy.
- Martin S., Reynard, E., Pellitero Ondicol, R. and Ghiraldi, L. (2014). 'Multi-scale web mapping for geoheritage visualisation and promotion'. *Geoheritage* 6:141–148. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0102-3>
- Martin-Duque, J. F., Caballero García, J. and Carcavilla Urquí, L. (2012). Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a karstic landscape: A case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). *Geoheritage* 4:93–108. <https://doi.org/10.1007/s12371-012-0056-2> <https://doi.org/10.1007/s12371-012-0056-2>
- Migoñ, P. (2006). *Granite Landscapes of the World*. Oxford: Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/granite-landscapes-of-the-world-9780199273683>
- Migoñ, P. (2018). Geoheritage and World Heritage Sites. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 237–250. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00013-7>
- Mitchell, B.A., Stolton, S., Bezaury-Creel, J., Bingham, H.C., Cumming, T.L., Dudley, N., Fitzsimons, J.A., Malleret-King, D., Redford, K.H. et Solano, P. (2020). *Lignes directrices pour les aires protégées à gouvernance privée*. Lignes directrices des meilleures pratiques pour les aires protégées no. 29. Gland, Suisse : UICN. xii + 111pp. <https://portals.iucn.org/library/node/49024>
- Morris, R.L., Strain, E.M.A., Konlechner, T.M., Fest, B.J., Kennedy, D.M., Arndt, S.K. and Swearer, S.E. (2019). 'Developing a nature-based coastal defence strategy for Australia'. *Australian Journal of Civil Engineering* 17:167–176. <https://doi.org/10.1080/14488353.2019.1661062>
- National Speleological Society. (2016). *A Guide to Responsible Caving*, 5th ed. Huntsville, AL, États-Unis: National Speleological Society. https://caves.org/brochure/Guide_to_Resp_Caving_2016.pdf
- Natural England. (2012). *Managing Geological Specimen Collecting: Guidance and Case Studies*. Natural England Technical Information Notes TIN111, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 127. <http://publications.naturalengland.org.uk/category/1768835>
- Neugarten, R.A., Langhammer, P.F., Osipova, E., Bagstad, K.J., Bhagabati, N., Butchart, S.H.M., Dudley, N., Elliott, V., Gerber, L.R., Gutierrez Arrellano, C., Ivanić, K.-Z., Kettunen, M., Mandle, L., Merriman, J.C., Mulligan, M., Peh, K.S.-H., Raudsepp-Hearne, C., Semmens, D.J., Stolton, S., and Willcock, S. (2018). *Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: guidance for key biodiversity areas, natural World Heritage Sites, and protected areas*. Best Practice Protected Area Guidelines Series No.28. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.PAG.28.en>
- Palmer, A.N. (2007). *Cave Geology*. Dayton, OH, États-Unis: Cave Books. https://www.goodreads.com/book/show/1728400.Cave_Geology
- Palmer, M. and Ruhi, A. (2019). 'Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration'. *Science* 365: eaaw2087. <https://doi.org/10.1126/science.aaw2087>
- Pelfini, M., Brandolini, P., Carton, A. and Piccazzo, M. (2009). 'Geotourist trails: A geomorphological risk impact analysis'. In E. Reynard, P. Coratza and G. Regolini-Bissig (eds.). *Geomorphosites*, pp. 131–144. Munich: Pfeil Verlag.
- Pereira, P., Pereira, D. and Alves M.I.C. (2007). 'Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal)'. *Geographica Helvetica* 62:159. <https://doi.org/10.5194/gh-62-159-2007>
- Pereira P., Pereira D.I. and Alves, M.I.C. (2009). 'The geomorphological heritage approach in protected areas: Geoconservation vs. geotourism in Portuguese natural parks'. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia LXXXVII*: 135–144.
- Piccardi, L. and Masse, W.B. (eds.). (2007). *Myth and Geology*. Special Publication No. 237. London, UK: The Geological Society. <https://www.cambridge.org/core/journals/geological-magazine/article/l-piccardi-w-b-masse-eds-2007-myth-and-geology-geological-society-special-publication-no-273-350-pp-geological-society-london-price-9000-us-18000-gsl-members-4500-us-9000-other-qualifying-societies-5400-us-10800-hard-covers-isbn-978-1-86239-216-8/F52D20263874399E99A0755B965F8FC0>
- Poff, N.L. (2018). 'Beyond the natural flow regime? Broadening the hydro-ecological foundation to meet environmental flows challenges in a non-stationary world'. *Freshwater Biology* 63: 1011–1021. <https://doi.org/10.1111/fwb.13038>
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. and Stromberg, J.C. (1997). 'The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration'. *BioScience* 47:769–784. <https://doi.org/10.2307/1313099>
- Pontee, N., Narayan, S. and Beck, M.W. (2016). 'Nature-based solutions: Lessons from around the world'. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Maritime Engineering* 169: 29–36. <https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00027>
- 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* 3:277–287. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0042-0>
- Prosser, C.D. (2016). 'Geoconservation, quarrying and mining: Opportunities and challenges illustrated through working in partnership with the mineral extraction industry in England'. *Geoheritage* 10:259–270. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0206-z>

- Prosser, C.D., Murphy, M. and Larwood, J. (2006). *Geological Conservation: A Guide to Good Practice*. Peterborough, UK: English Nature. <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/83048>
- Prosser, C.D., Diaz-Martinez, E. and Larwood, J. G. (2018). 'The geoconservation of geosites: Principles and practice'. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 193–212. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00011-3>
- ProGEO. (2011). *Conserving Our Shared Geoheritage – A Protocol on Geoconservation Principles, Sustainable Site Use, Management, Fieldwork, Fossil and Mineral Collecting*. Uppsala, Sweden: ProGEO, the European Association for the Conservation of Geological Heritage. <http://www.progeo.se/progeo-protocol-definitions-20110915.pdf>
- Purdie, H., Espiner, S. and Gomez, C. (2018). 'Geotourism and risk: A case study of rockfall hazard at Fox Glacier, New Zealand'. In: R. Dowling and D/ Newsome (eds.). *Handbook of Geotourism*, pp. 139–151. Cheltenham, UK: Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781785368868.00020>
- Rapprich, V., Lisec, M., Fiferia, P., and Závada, P. (2017). 'Application of modern technologies in popularization of the Czech volcanic geoheritage'. *Geoheritage* 9:413–420. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0208-x>
- Reynard, E. (2009a). 'Geomorphosites and landscapes'. In E. Reynard, P. Coratza and G. Regolini-Bissig (eds.). *Geomorphosites*, pp. 21–34. Munich: Pfeil Verlag.
- Reynard, E. (2009b). 'Geomorphosites: Definitions and characteristics'. In E. Reynard, P. Coratza and G. Regolini-Bissig (eds.). *Geomorphosites*, pp. 9–20. Munich: Pfeil Verlag. https://www.researchgate.net/publication/288265820_Geomorphosites_Definitions_and_characteristics
- Reynard, E. and Brilha, J. (eds.). (2018). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Amsterdam: Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/geoheritage/reynard/978-0-12-809531-7>
- Roberts, R., Appleton, P., and Buttler, C. (2016). Root and branch reform for Brymbo fossil. *Earth Heritage* 45:7-9. <http://www.earthheritage.org.uk/wp/wp-content/uploads/2018/03/EH45f.pdf>
- RPDC [Resource Planning and Development Commission]. (2013). 'Land, Geodiversity and Geoconservation'. In: *State of the Environment Report: Tasmania*. Hobart, Tasmania, Australia: RSPC. <http://soer.justice.tas.gov.au/2003/lan/2/issue/77/index.php#zmanagement>
- Santangelo N., Santo A., Guida D., Lanzara R. and Siervo V. (2005). 'The geosites of the Cilento Vallo di Diano National Park (Campania region, southern Italy)'. *Il Quaternario* 18:103–114. https://www.researchgate.net/publication/258986935_The_geosites_of_the_Cilento-Vallo_di_Diano_National_Park_Campania_region_southern_Italy
- Santucci, V.L. (2005). Historical perspectives on biodiversity and geodiversity. *The George Wright Forum*: 22(3):29–34.
- Santucci, V.L. and Hughes, M. (1998). 'Fossil Cycad National Monument: A case of paleontological resource mismanagement'. In: Santucci, V.L. and McClelland, L. (eds.). *National Park Service Paleontological Research*, 3, pp. 84–89. Technical Report NPS/NRGRD/GRDTR-9801. Washington, DC: US National Park Service. https://www.nps.gov/subjects/fossils/upload/NPS_10thconference_proceedings.pdf
- Santucci, V.L., Kenworthy, J.P. and Mims, A.L. (2009). 'Monitoring *in situ* paleontological resources'. In: R. Young and L. Norby. (eds.). *Geological Monitoring*, pp. 189–204. Boulder, CO, États-Unis: Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2009.monitoring\(08\)](https://doi.org/10.1130/2009.monitoring(08))
- Santucci, V.L. and Koch, A.L. (2003). 'Paleontological resource monitoring strategies for the National Park Service'. *Park Science* 22:22–25. <http://www.npshistory.com/publications/paleontology/paleo-monitoring.pdf>
- Santucci, V. L., Tweet, J.S. and Kenworthy, J.P. (2012). 'Paleoblitz: Uncovering the fossil record of the national parks'. *Park Science* 29:29–32.
- Scottish Geodiversity Forum. (2013). *Scotland's Geodiversity Charter*. <http://scottishgeodiversityforum.org/charter/>
- Scottish Natural Heritage. (2008). *Scottish Fossil Code*. Battleby, UK: Scottish Natural Heritage. <https://www.nature.scot/scottish-fossil-code>
- Scottish Natural Heritage. (2019). 'Keen of Hamar National Nature Reserve'. <https://www.nature.scot/enjoying-outdoors/snh-nature-reserves/keen-hamar-nature-reserve>
- Sharples, C. (2002). *Concepts and Principles of Geoconservation*. Hobart, Tasmania, Australia: Tasmanian Parks & Wildlife Service. [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. Hobart, Tasmania, Australia: Resource Management and Conservation Division, Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment. <http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/LJEM-8P983Y?open>

- Smaldone, D. (2003). *A Crash Course in Interpretation*. Washington, DC: US National Park Service.
<https://www.nps.gov/grte/learn/management/upload/interp.pdf>
- Smith, A.G., Barry, T., Bown, P., Cope, J., Gale, A., Gibbard, P., Gregory, J., Hounslow, M., Kemp, D., Knox, R., Marshall, J., Oates, M., Rawson, P., Powell, J. and Waters, C. (2015). 'GSSPs, global stratigraphy and correlation'. In: D.G. Smith, R.J. Bailey, P.M. Burgess, and A.J. Fraser, A.J. (eds.). *Strata and Time: Probing the Gaps in Our Understanding*, pp. 37–67. Special Publications No. 404. London: The Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP404.8>
- Spalding, M.D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L.Z., Shepard, C. and Beck, M.W. (2014). 'The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards'. *Ocean & Coastal Management* 90: 50–57.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007>
- Stolton, S., Shadie, P. and Dudley, N. (2013). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories: Including IUCN WCPA best practice guidance on recognising protected areas and assigning management categories and governance types*. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 21, Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/30018>
- Tasmanian Government. (Undated). *Protecting and Managing Karst*. Hobart, Tasmania, Australia: Government of Tasmania. <https://dipwwe.tas.gov.au/conservation/geoconservation/karst/protecting-karst>
- Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T.J., Herman, P. M. J., Ysebaert, T. and De Vriend, H.J. (2013). 'Ecosystem-based coastal defence in the face of global change'. *Nature* 504: 79–83. <https://doi.org/10.1038/nature12859>
- Theobald, D.M., Harrison-Atlas, D., Monahan, W.B. and Albano, C.M. (2015). Ecologically-relevant maps of landforms and physiographic diversity for climate adaptation planning. *PLoS ONE* 10(12):e0143619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143619>
- Tilden, F. (1977). *Interpreting Our Heritage*. Chapel Hill, NC, États-Unis: University of North Carolina Press.
<https://uncpress.org/book/9780807858677/interpreting-our-heritage/>
- Tukiainen, H., Kiuttu, M., Kalliola, R., Alahuhta, J. and Hjort, J. (2019). 'Landforms contribute to plant biodiversity at alpha, beta and gamma levels'. *Journal of Biogeography* 46:1699–1710. <https://doi.org/10.1111/jbi.13569>
- IUCN [Union internationale pour la conservation de la nature] Assemblée des Membres (2008). Résolution 4.040: Conservation de la géodiversité et du patrimoine géologique. WCC 2008 RES 040.
<https://portals.iucn.org/library/node/44190>
- IUCN Assemblée des Membres (2012). Résolution 048: Valoriser et conserver le patrimoine géologique par le biais du *Programme de l'IUCN 2013-2016*. WCC 2012 RES 048.
<https://portals.iucn.org/library/node/44015>
- IUCN (2016a). Résolution 6.083: Conservation du patrimoine géologique ex situ, adoptée au 6ème Congrès Mondial de la Nature, Hawaï'i (États-Unis), 2016. Gland, Suisse : IUCN.
<https://portals.iucn.org/library/node/46500>
- IUCN, Assemblée des Membres (2016b). Résolution 6.102 *Les aires protégées et autres zones importantes pour la biodiversité dans le contexte d'activités industrielles et du développement d'infrastructures portant préjudice à l'environnement*. WCC 2016 RES 102. <https://portals.iucn.org/library/node/46519>
- IUCN (2020). *Standard mondial de l'IUCN pour les solutions fondées sur la nature. Cadre accessible pour la vérification, la conception et la mise à l'échelle des SfN*. Première édition. Gland, Suisse : IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.fr>
- UNESCO [Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture]. (1972). *Criteria for World Heritage Site Selection*. Paris: UNESCO World Heritage Centre. <https://whc.unesco.org/en/criteria/>
- US National Park Service. (2013). *Yosemite National Park 1997 Flood Recovery Final Report*. Washington, États-Unis: US Department of the Interior, National Park Service. <https://www.nps.gov/yose/learn/management/1997-flood-recovery.htm>
- US National Park Service. (2019). 'Transforming the NPS digital experience'. <https://www.nps.gov/subjects/digital/index.htm>
- Veni, G., DuChene, H., Crawford, N.C., Groves, C.G., Huppert, G.N., Kastning, E.H., Olson, R., and Wheeler, B.J. (2001). *Living with Karst: A Fragile Foundation*. Environmental Awareness Series No. 4. Alexandria, VA, États-Unis: American Geological Institute.
<https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/karst.pdf>
- Vermeulen, J. and Whitten, T. (1999). *Biodiversity and Cultural Property in the Management of Limestone Resources: Lessons from East Asia*. Washington DC: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-4508-7>
- Verschuuren, B., Mallarach, J.-M., Bernbaum, E., Spoon, E., Brown, S., Borde, R., Brown, J., Calamia, M., Mitchell, N., Infield, M., and Lee, E. (2021). *Cultural and spiritual significance of nature: guidance for its role in protected and conserved area governance and management*. IUCN WCPA Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 32. Gland, Switzerland: IUCN.
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.PAG.32.en>
- Vogel, B., Woo, K.S., Grunewald, R., Crofts, R. and Stolpe, G. (eds.) (2018). *Global Geoheritage: International Significance and Biodiversity Values — Workshop Proceedings*. BfN Skripten 500. Leipzig: German Federal Agency for Nature Conservation.
<https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript500.pdf>

- Waltham, T., Bell, F. and Culshaw, M. (eds.). (2005). *Sinkholes and Subsidence*. Chichester, UK: Springer-Praxis.
<https://b-ok.org/book/836594/200a35>
- Watson, J., Hamilton-Smith, E., Gillieson, D. and Kiernan, K. (eds.). (1997). *Guidelines for Cave and Karst Protection*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/7255>
- Welch, D. (2004). 'Geoindicators for monitoring Canada's national parks: A proposal'. In: N.W.P. Munro et al. (eds.). *Making Ecosystem Based Management Work: Connecting Managers and Researchers*. Proceedings of the Fifth International Conference on Science and the Management of Protected Areas, Victoria, British Columbia, 11–16 May, 2003. Wolfville, NS, Canada: Science and Management of Protected Areas Association.
<https://epdf.pub/transforming-parks-and-protected-areas-management-and-governance-in-a-changing-w.html>
- Wellman, J. (2015). 'What does the term rock mean or represent when used in the Bible?' *Patheos*.
<http://www.patheos.com/blogs/christiancrier>
- Werritty, A., Duck, R.W. and 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. Edinburgh: Scottish Natural Heritage. <https://discovery.dundee.ac.uk/en/publications/development-of-a-conceptual-and-methodological-framework-for-monitoring-site-condition-in-geomorphological-systems>
- White, W.B. and Culver, D.C. (2012). *Encyclopedia of Caves*, 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780123838322/encyclopedia-of-caves>
- Wignall, R.M.L. (2019). Scottish Natural Heritage Earth Science Site Condition Monitoring Methodology 1999–2019. Scottish Natural Heritage Research Report No. 1160. Edinburgh: Scottish Natural Heritage.
<https://www.nature.scot/snh-research-report-1160-scottish-natural-heritage-earth-science-site-condition-monitoring>
- Wignall, R.M.L., Gordon, J.E., Brazier, V., MacFadyen, C.C.J. and Everett, N.S. (2018). A Climate Change Risk-Based Assessment for Nationally and Internationally Important Geoheritage Sites in Scotland, Including All Earth Science Features in Sites Of Special Scientific Interest (SSSI). Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 1014. Edinburgh: Scottish Natural Heritage.
<https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2017.11.003>
- Williams, A.T., Rangel-Buitrago, N., Pranzini, E. and Anfuso, G. (2018). 'The management of coastal erosion'. *Ocean & Coastal Management* 156:4–20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>
- Williams, P. (2008). *World Heritage caves and karst: a thematic study*. Gland, Switzerland: IUCN.
<https://portals.iucn.org/library/node/9267>
- Williams, D. and Edwards, D. (2013). 'Moulding and cast replication of outcrops: A tool in geoconservation'. *Proceedings of the Geologists' Association* 124:648–652. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2012.08.003>
- Wimbledon, W.A.P., Barnard, A.F. and Peterken, A.G. (2004). 'Geosite management: A widely applicable, practical approach'. In: Parkes, M.A. (ed.). *Natural and Cultural Landscapes: The Geological Foundation*. pp. 187–192. Dublin: Royal Irish Academy.
<https://www.researchgate.net/publication/333546901>
- Wimbledon, W.A.P. and Smith-Meyer, S. (eds.). (2012). *Geoheritage in Europe and its Conservation*. Oslo: ProGEO. https://www.researchgate.net/publication/261917799_Geoheritage_in_Europe_and_its_Conservation_WAPWimbledonSMeyer-Smith_ProGEO_2012_405_pp_Hardback_4000_ISBN_9788242624765
- Woo, K.S. and Kim, L. (2018). 'Geoheritage evaluation of caves in Korea: A case study of limestone caves'. In: E. Reynard and J. Brilha (eds.). *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp. 373–386. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00021-6>
- Wood, C. (2009). *World Heritage Volcanoes: A Thematic Study. A Global Review of Volcanic World Heritage Properties: Present Situation, Future Prospects and Management Requirements*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/9486>
- Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary S. et Pulsford I. (eds.). (2020) *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press. <http://doi.org/10.22459/GGAP>
- Worboys, G.L. et Trzyna, T. (2020). 'Gestion des aires protégées'. In : Worboys, G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (eds.). *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press. <https://doi.org/10.22459/GGAP.08>
- Zarnetske, P.L., Read, Q.D., Record, S., Gaddis, K.D., Pau, S., Hobi, M.L., Malone, S.L., Costanza, J., Dahlin, K.M., Latimer, A.M., Wilson, A.M., Grady, J.M., Ollinger, S.V. and Finley, A.O. (2019). 'Towards connecting biodiversity and geodiversity across scales with satellite remote sensing'. *Global Ecology and Biogeography* 28:548–556. <https://doi.org/10.1111/geb.12887>

Les auteurs



Roger Crofts est géographe de formation et spécialiste de l'évolution des littoraux et de la gestion de la nature dans les aires protégées. Il est le fondateur et Directeur général de Scottish Natural Heritage, l'organisme statutaire chargé de la protection de la nature et des paysages, responsable de la mise en œuvre du système UE Natura et de la gestion du réseau des aires protégées intérieures en Écosse. Il a présidé le Comité de l'UICN pour le Royaume-Uni, la région européenne de la CMAP, l'Accord de Durban et le Groupe de travail du Plan d'action lors de la 5e Conférence mondiale des Parcs. Il a joué un rôle majeur pour intégrer la nature dans la définition de l'UICN d'une aire protégée. Il a étudié de nombreuses aires protégées, et a beaucoup écrit sur la géoconservation. Roger Crofts a reçu la distinction Fred Packard International Parks en 2016, et a reçu de nombreuses autres distinctions en Écosse, au Royaume-Uni et en Islande pour son travail autour de la gestion de l'environnement et des aires protégées. .



José B.R. Brilha est géologue et professeur titulaire au département des Sciences de la Terre de l'université de Minho, Portugal. Il est membre de la Commission mondiale des aires protégées de l'UICN, et de son Groupe de spécialistes sur le géopatrimoine, et membre du panel d'évaluateurs pour les Géoparcs mondiaux de l'UNESCO. Il a été président de ProGEO (Association européenne pour la conservation du patrimoine géologique), cofondateur et rédacteur en chef de la revue scientifique Geoheritage, et membre du Comité portugais du Programme international de géosciences (PICG) et du Forum portugais sur les Géoparcs. Il développe actuellement une recherche appliquée sur la géodiversité, la géoconservation, les aires protégées et les géoparcs.



John Gordon a travaillé pendant de nombreuses années avec les organismes statutaires de conservation de la nature en Grande-Bretagne, fournissant des conseils sur l'évaluation, la documentation et la gestion de la conservation des aires protégées pour le géopatrimoine. Il est professeur honoraire à l'école de géographie et du développement durable de l'université de St-Andrews, Écosse. Il est membre du Comité directeur, et vice-président du Groupe de spécialistes de la Commission mondiale des aires protégées de l'UICN sur le géopatrimoine, membre du Groupe d'experts sur le géopatrimoine de la Fédération européenne des géologues, et membre de ProGeo, l'Association européenne pour la conservation du patrimoine géologique.



Murray Gray est professeur honoraire à l'École de géographie, université Queen Mary de Londres, R.-U., et professeur invité à l'École des sciences de la Terre, université de Minho, Portugal. Au départ spécialisé dans la géomorphologie glaciaire, il a ensuite développé une expertise en géodiversité et ses applications, notamment le géopatrimoine, la géoconservation et le géotourisme. Il est l'auteur des deux éditions du livre *Geodiversity : Valuing and Conserving Abiotic Nature* (Wiley-Blackwell, Chichester, 2004 et 2013). Il est membre du Groupe de spécialistes de la CMAP UICN sur le géopatrimoine, et du comité éditorial du journal *Geoheritage*. Il a donné des conférences sur la géodiversité aux États-Unis, au Canada, au Brésil, en Chine, au Japon, en Malaisie, en Afrique du Sud et dans toute l'Europe.



John Gunn (Licence à l'université d'Aberystwyth ; Doctorat à l'université d'Auckland) est professeur honoraire à l'École de géographie, de la Terre et des sciences environnementales, université de Birmingham. Scientifique multidisciplinaire, il travaille sur une seule roche – le calcaire – et les milieux karstiques qui forment le calcaire. John est spéléologue, activement impliqué dans l'exploration des grottes. Ses intérêts de recherche portent sur : la conservation et la gestion des grottes et du géopatrimoine et des ressources karstiques ; l'hydrogéologie du karst ; l'évolution des assemblages de reliefs karstiques ; et les climats des grottes. Il est vice-président du Groupe de spécialistes de la CMAP UICN sur le géopatrimoine, et président du Groupe de travail sur les grottes et les karsts.



Jonathan Larwood a étudié la géologie à l'université College London, et a obtenu son doctorat en micropaléontologie à Aberystwyth, université College du Pays de Galles. Jonathan a fait sa carrière dans la conservation géologique. Il travaille à l'organisme gouvernemental Natural England en tant que géologue et paléontologue, et donne des conseils sur la conservation géologique et paléontologique. Il a participé à un grand nombre d'initiatives, notamment l'élaboration d'une politique et de pratiques de collecte, et la mise en place d'une planification de mesures en faveur de la géodiversité au Royaume-Uni. Il travaille étroitement avec les volontaires dans le secteur géologique. Jonathan est actuellement archiviste de l'Association des géologues, conseiller bénévole au National Trust, et administrateur du site du Patrimoine mondial de la côte du Jurassique. .



Vincent L. Santucci est géologue et paléontologue senior à la Division des ressources géologiques du Service des Parcs nationaux américains. Il a consacré toute sa carrière à la gestion, la protection, l'interprétation, la recherche scientifique et la conservation des fossiles du réseau des Parcs nationaux américains identifiés dans plus de 260 Parcs nationaux. L'une de ses principales fonctions est de coordonner la planification et les activités des ressources paléontologiques au sein du Service des parcs nationaux américains et avec divers partenaires – universités, musées et autres partenaires éducatifs, afin d'avoir une bonne gestion des ressources et des missions d'éducation publique. L'un des aspects les plus valorisants de son travail consiste à travailler avec l'équipe de la Journée nationale des fossiles, afin de sensibiliser le public sur la valeur scientifique et éducative des fossiles. .



Dan Tormey est président de Catalyst Environmental Solutions, un cabinet de conseil dans le domaine de l'environnement. Il a un doctorat en géologie et géochimie au MIT, et une licence en ingénierie civile et géologie à Stanford. Il travaille pour l'UICN dans le domaine du patrimoine mondial depuis 2009, ayant réalisé 27 études théoriques pour la Liste du patrimoine mondial, une mission de terrain, et corédigé l'étude thématique UICN Volcano Thematic Study, publiée en 2019. Il a été nommé à des comités de conseils scientifiques sur les aires protégées par l'Académie nationale des sciences et le Conseil californien sur la science et la technologie, est Conférencier émérite de la SPE et a été récompensé par la distinction Environmental and Social Responsibility award.



Graeme L. Worboys était professeur honoraire associé à l'école Fenner, à l'université nationale australienne, et conseiller technique auprès du gouvernement d'Australie-Méridionale pour le processus de nomination du critère (viii) du patrimoine mondial pour la chaîne des Flinders. Géologue de formation, il a travaillé dans les aires protégées pendant 46 ans et a obtenu un doctorat pour sa thèse sur la gestion des aires protégées. Il a réalisé des évaluations du patrimoine mondial géologique de l'UICN en Afrique du Sud, en Italie, en Inde, au Vietnam et en Chine. Graeme a été éditeur principal du Manuel Protected Area Governance and Management, publié en 2015 par l'UICN, et a été récompensé en 2016 par la distinction Fred M. Packard International Parks de l'UICN pour « ses services exceptionnels pour renforcer les objectifs des aires protégées pour la société ». Il a été distingué de l'ordre d'Australie (OM) en 2020 pour ses services exceptionnels en faveur de la conservation et de la communauté. Il est décédé en septembre 2020.



**UNION INTERNATIONALE POUR LA
CONSERVATION DE LA NATURE**

SIÈGE MONDIAL
Rue Mauverney 28
1196 Gland
Suisse
Tél. : +41 22 999 0000
Télec. : +41 22 999 0002
www.iucn.org/fr

