

# Avant-propos

**Brigitte VAN VLIET-LANOË<sup>1</sup> et Françoise BERGERAT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *UBO-CNRS, Géosciences Océan, IUEM, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France*

<sup>2</sup> *Institut des Sciences de la Terre de Paris, CNRS-Sorbonne Université, Paris, France*

Cet ouvrage collectif est la conclusion logique de plus de trente ans de recherches françaises en Islande, avec le soutien de différents programmes et institutions et l'apport d'une École thématique du CNRS sur l'Islande, école qui s'est tenue à Brest en 2010 et qui a été fortement impactée par l'éruption de l'Eyjafjallajökull. Cet ouvrage est le fruit du travail d'une bande de chercheurs complémentaires, amoureux de l'Islande. Nous avons une pensée particulière pour Jacques Angelier qui a quitté ce navire basaltique un peu trop tôt. Tous les chapitres sont multisignés – avec, pour chacun, un auteur principal – afin de décloisonner au maximum les différentes disciplines abordées et tiennent compte de l'ensemble de nos publications jusqu'aux plus récentes (2019-2020).

Les recherches françaises en Islande ont commencé au milieu des années 1980, initiées par Françoise Bergerat (Sorbonne Université, ex-université Pierre et Marie Curie de Paris) à la recherche d'une « dorsale émergée », en collaboration avec Jacques Angelier †, puis Catherine Homberg. Très rapidement, cette collaboration s'est élargie à des collègues islandais, Águst Guðmundsson (Londres), Kristjan Sæmundsson, Ragnar Stefansson, Sigurdur Rögnvaldsson †. Les premiers travaux portèrent sur l'analyse des déformations cassantes puis s'orientèrent vers la sismotectonique.

Ce travail a été ensuite été complété, à partir des années 2000, par les campagnes géodésiques de l'équipe de l'université de Savoie à Chambéry menées par Thierry Villemin en collaboration avec Halldór Geirsson et son groupe. Au début des années

1990, Laurent Geoffroy débutait (à Paris) des travaux sur les provinces basaltiques thuléennes (Écosse, Irlande, Faroe), poursuivis à partir des années 2000 (à l'Université du Maine) de l'autre côté de l'Atlantique, au Groenland. L'analyse de la morphologie de l'Islande a débuté au milieu des années 1990 au sein de l'université de Rennes-I, avec Olivier Dauteuil et Brigitte Van Vliet-Lanoë, puis s'est étendue sur l'océan voisin en relation avec le volcanisme et l'évolution de l'Atlantique Nord. En même temps, l'histoire climatique néogène et quaternaire de l'île, relevée par la stratigraphie, a été consolidée avec les datations menées par Hervé Guillou et ses collègues et par de la géochimie effectuée au sein de l'université de Bretagne occidentale à Brest, en étroite collaboration avec Águst Guðmundsson (Hafnafjörður), Kristjan Sæmundsson et l'équipe d'Helgi Björnsson. La dernière étape de ce travail est actuellement en cours de développement dans le laboratoire Géosciences Océan de Brest, avec Laurent Geoffroy et René Maury. Elle concerne l'évolution de l'Atlantique Nord à partir des données islandaises et groenlandaises.

Le support matériel et logistique des instances islandaises s'est révélé très constructif tant pour les travaux sur terrain que pour l'acquisition et le partage de données : IMO (Veðurstofa Íslands/Icelandic Meteorological Office) ; ISOR (Íslenskar orkurannsóknir/Icelandic energy research), anciennement Orkustofnun (National Energy Authority) ; Landsvirkjun (National Power Company) ; Parc national du Vatnajökull. Ces recherches n'auraient pas été aussi fructueuses sans l'aide physique et intellectuelle de tous nos étudiants, en master et/ou en thèse : Olivier Bourgeois, Magalie Bellou, Jean-Christophe Embry, Loïc Fourel, Sebastian Garcia, Guillaume Gosselin, Solène Guégan, Romain Plateaux, Lionel Sonnette, Anne Sophie Van Cauwenberge, Ségolène Verrier, Audrey Wayolle.

Enfin, ce travail a été rendu possible grâce à l'aide de l'Ambassade de France en Islande et aux financements obtenus auprès de la Commission européenne, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> PCRD (programmes PRENLAB-1 et -2, PREPARED et SMSITES) ; de l'Institut Paul Émile Victor (IPEV), anciennement Institut français pour la recherche et la technologie polaires (IFRTP) (Programme Arctique 316) ; du ministère islandais de l'Éducation, et du ministère français des Affaires étrangères (programme de collaboration scientifique et culturel franco-islandais).

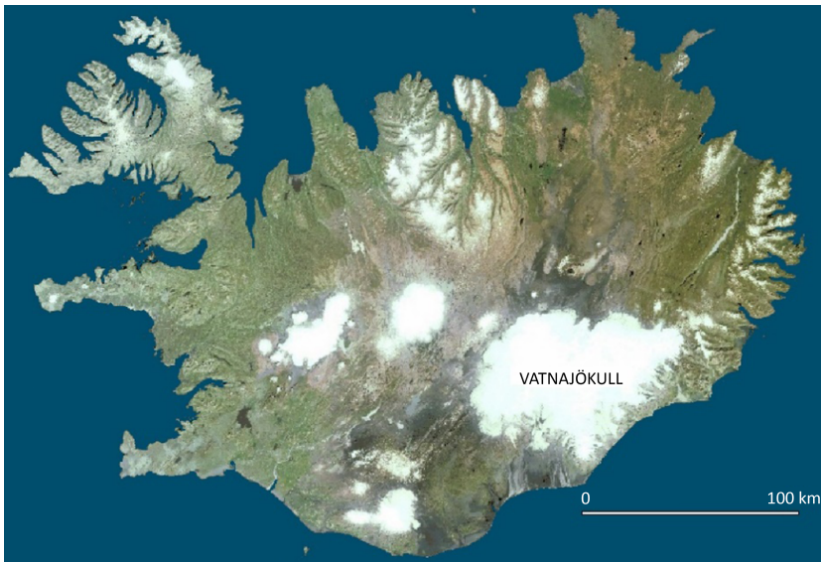
Nous remercions également Bernadette Coleno, Marion Jaud, Laurent Gernigon et Alexandre Lethiers pour leurs contributions aux figures de ce volume.



# Introduction

**Brigitte VAN VLIET-LANOË et René MAURY**

*UBO-CNRS, Géosciences Océan, IUEM, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France*



**Figure I.1.** *L'Islande vue depuis l'espace (document Institut géographique islandais/Landmælingar Ísland (LMIs))*

L'Islande (figure I.1), île jeune et isolée au milieu de l'Atlantique, n'a été découverte que très récemment à l'échelle de l'histoire humaine. Des moines irlandais, les papars, passèrent d'île en île dans leurs coracles (*currachs*, figure I.2) *via* les Shetlands

*L'Islande au cœur de l'Atlantique Nord 2,*  
coordonné par Brigitte VAN VLIET-LANOË. © ISTE Editions 2021.

et les Féroé, pour évangéliser l'Hyperborée légendaire. Ces voyages eurent lieu dès le VI<sup>e</sup> siècle, une période à hivers volcaniques et froids.

Les papars découvrirent un monde de feu et de glace, les portes de l'enfer. Ils s'installèrent dans des huttes rondes recouvertes de tourbe et creusèrent des cavernes-chapelles dans les formations interglaciaires sableuses consolidées du sud de l'île.



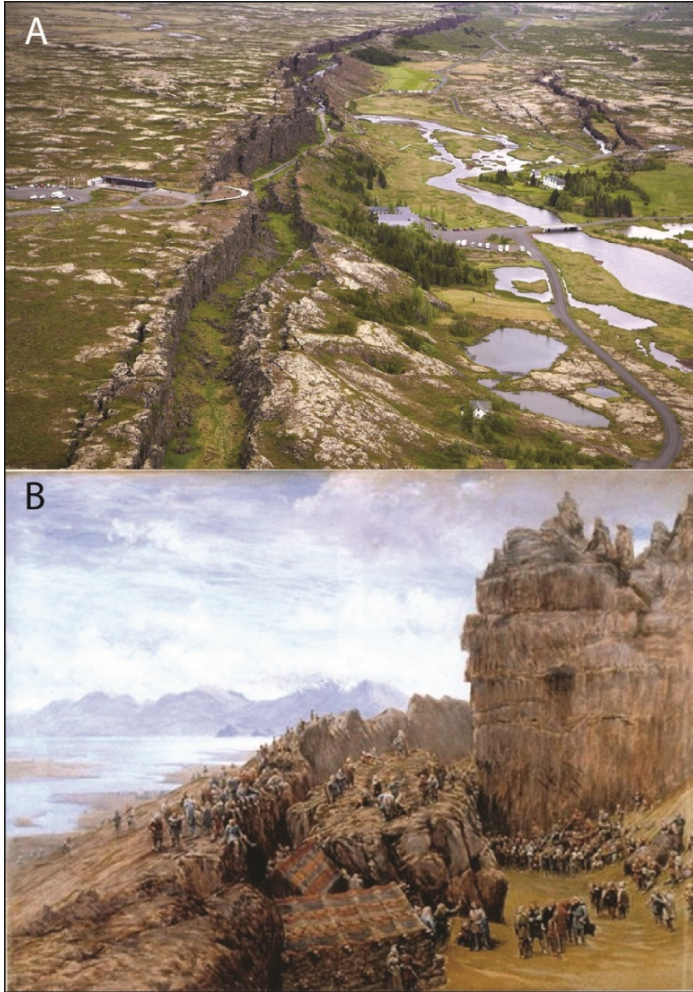
**Figure I.2.** A) Timbre islandais illustrant la découverte de l'Islande par les moines irlandais ou papars. B) Le lac glaciaire Jökulsarlón dominé par le volcan Oræfajökull (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)

Deux cents ans plus tard, les Vikings, des guerriers mais aussi et surtout des agriculteurs à la recherche de terres cultivables (figure I.3), s'installèrent dans le sud et l'ouest de l'île à partir de 860 après J.-C., sur des terres boisées rendues fertiles par d'épaisses couches de lèss volcaniques. C'est le *landmana* des sagas islandaises. Ils installèrent leur parlement, l'Alþing, vers 900 après J.-C., dans un site remarquable (figure I.4) qui deviendra un haut lieu de la tectonique des plaques, le graben de Þingvellir, frontière entre la plaque européenne et la plaque américaine.



**Figure I.3.** Bergeries traditionnelles du sud de l'Islande avec le volcan Hekla à l'arrière-plan (Rangavellir) (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)

Ces terres fertiles sont surmontées depuis au moins 400 000 ans par un monstre de feu, le volcan Hekla (figure I.5). Son éruption plinienne en 1104 après J.-C. (HI, indice d'explosivité volcanique de 5) a détruit nombre d'installations agricoles vikings dans le Rangavellir, non seulement par les chutes de ponces et les gaz, mais également par les débâcles glaciaires associées, les *jökulhlaups*, envoyant la région (Þjorsárdalur) sous un flot d'eau boueuse de plus de 25 m de hauteur. À cette époque, l'Hekla devait être plus englacé que de nos jours.



**Figure I.4.** A) Le graben de Þingvellir, vu d'avion (site web du Parc national de Þingvellir). Le site de l'Alþing se situe en face des bâtiments blancs (chapelle). B) Reconstitution de l'Alþing au Moyen Âge par W.G. Collingwood (1897)





**Figure 1.5.** A) Le volcan Hekla (© Brigitte Van Vliet-Lanoë) et B) sa représentation cartographique sur la carte *Islandia* d'Ortelius (1585)

En dépit du long isolement de l'île par rapport au reste de l'Europe, on dispose de nombreux renseignements sur son histoire. En effet, les Islandais ont jalousement préservé leur langue et leurs livres anciens, dont les célèbres sagas, et se sont souvent révélés être de grands écrivains et des lecteurs assidus, même dans les fermes isolées.

Outre leur intérêt littéraire et historique, les sagas représentent une source d'informations paléo-environnementales exceptionnelles sur une période dont l'évolution climatique est très complexe : l'optimum médiéval et la dégradation climatique qui a suivi. L'Université d'Islande a été fondée en 1911 et, en raison de sa nature particulière, l'Islande est le pays qui compte la plus grande proportion de géologues et surtout de volcanologues parmi sa population.

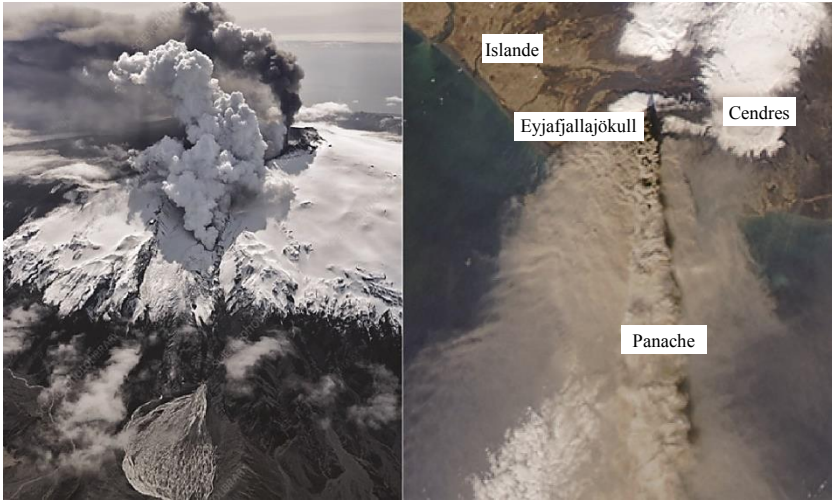


**Figure I.6.** Paysage typique des basaltes anciens de la côte est de l'Islande (Skridalur) (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)

L'Islande est une terre de feu et de glace, encore peu peuplée (environ 350 000 habitants en 2020), prisée des touristes pour son caractère « intact », photogénique et ses nombreuses merveilles naturelles, bien que la colonisation viking ait rapidement fait disparaître la forêt. Mais le développement touristique récent a aussi provoqué une invasion de véhicules 4x4, d'hôtels flambant neufs et de huttes de vacances, élevant certes le niveau de vie de la population, mais détruisant peu à peu un patrimoine naturel – incluant le patrimoine géologique – étonnamment bien préservé jusqu'au début du XXI<sup>e</sup> siècle. Le développement industriel (géothermie, hydroélectricité et électrometallurgie) a permis de maintenir la population dans les secteurs périphériques de l'île et a surtout modifié le paysage des zones côtières. Quoi que l'on fasse ou que l'on regarde en Islande, on se trouve *de facto* en connexion avec l'histoire géologique de l'île (figure I.6).

Malgré son éloignement, l'Islande est une terre qui influence directement l'ouest de l'Europe de par sa position au centre nord de l'Atlantique, en tant que balise du

Gulf Stream et de la circulation thermohaline, ou par l'intermédiaire de sa dépression météorologique. Mais c'est aussi une terre constituée pour l'essentiel d'accumulations basaltiques stratifiées, toujours active d'un point de vue tectonique et volcanique, comme nous l'a rappelé la dernière éruption de l'Eyjafjallajökull (mars-octobre 2010) avec son panache de cendres qui a envahi l'Europe et a perturbé les vols commerciaux intercontinentaux (figures I.7 et I.8).



**Figure I.7.** L'éruption de l'Eyjafjallajökull en 2010 : son jökulhlaup (© Reykjavik Helicopter) et son panache (Earth Observatory, NASA)

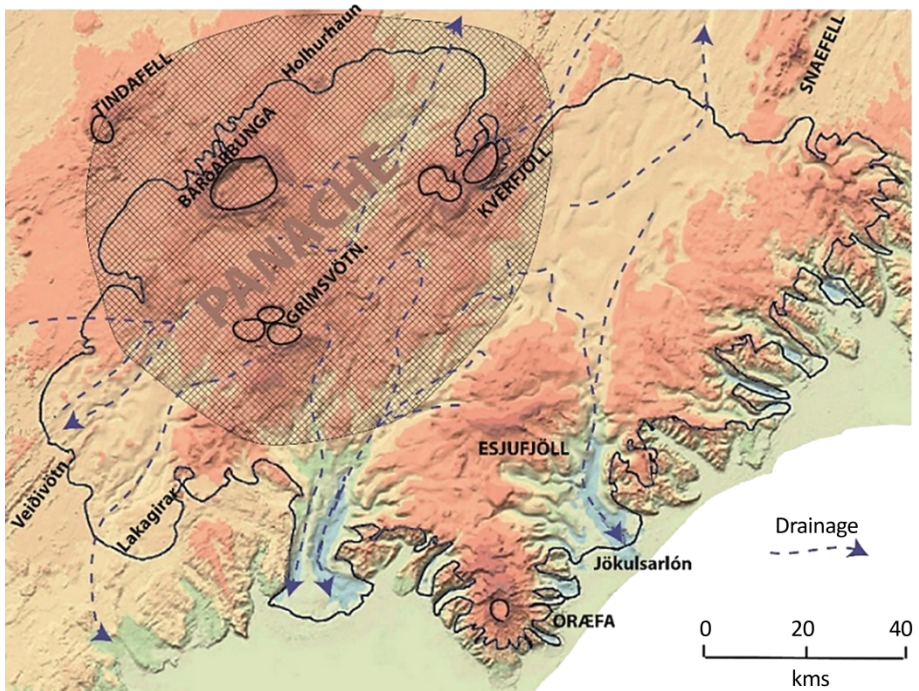


**Figure I.8.** Moutons incommodés par les cendres de l'éruption (© Flickr)



Les glaciers se localisent sur des édifices volcaniques au moins quaternaires. La plus grande calotte, le Vatnajökull, repose sur des volcans parmi les plus actifs de l'île, situés à l'aplomb d'un panache magmatique profond.

Le Bárðarbunga (figure I.9) est l'un des volcans du point chaud islandais et est localisé en marge occidentale de la calotte actuelle du Vatnajökull.



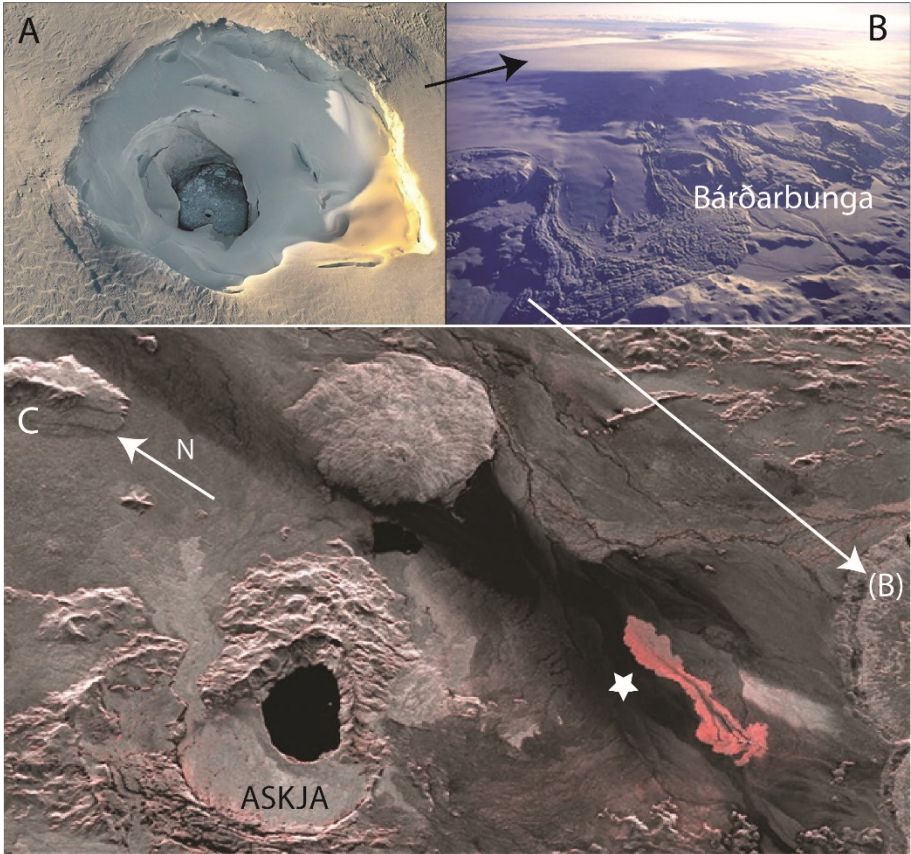
**Figure I.9.** Modèle numérique de terrain du Vatnajökull (trait noir : limite actuelle de la calotte) complété avec le positionnement du drainage des crues et l'extension potentielle (à une profondeur de 200 km) du panache mantellique islandais (en grisé) (source : H. Björnsson, 2009).

L'éruption la plus récente de ce volcan (août 2014-février 2015 ; figure I.10) a été liée à la vidange de la chambre magmatique située à 12 km sous la caldera, suite à la fonte climatique de la calotte (environ 1 m/an).

Au nord-ouest, un épanchement de lave, le plus impressionnant depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, s'est produit suivant une ligne de fractures, en association avec des essaims de

séismes qui sont remontés jusqu'au volcan Askja au nord. L'éruption précédente, celle du Veidivötn, s'était échappée vers le sud en 1747, réveillant le volcan Torfa par la même occasion.

Le Bárðarbunga est également une source pour les *jökulhlaups* ou mégacruées, résultant de la fonte des glaciers par la chaleur de la lave émise et qui émergent le plus souvent en direction du nord.



**Figure 1.10.** A, B) Vues de la caldera du Bárðarbunga oblitérée par la glace lors de l'éruption de 2014 avec un chaudron de fonte à l'ouest (A et flèche noire) (photo : [mbl.is/RAX](http://mbl.is/RAX)). C) Image satellitaire de l'émergence de la coulée de Holhurhaun (étoile) du 13 août 2014 au pied du Bárðarbunga (B) (photo : TerraSAR-X).



Un autre centre volcanique majeur est localisé au centre de la calotte glaciaire, directement au-dessus du sommet du panache mantellique : il s'agit de la caldera triple du Grímsvötn (figures I.9 et I.11) grande majorité des téphras asaltiques qui masquent les glaciers et rejoignent les terres entourant l'Atlantique Nord.

Le plus célèbre est le téphra de Saksunarvatn vers 10 200 ans cal BP. Ce volcan n'est jamais au repos ; sa fréquence éruptive actuelle est de l'ordre de la dizaine d'années et il est resté aussi continuellement actif en période glaciaire, mais avec une fréquence moindre.

Il est surtout responsable de la formation de lacs sous-glaciaires et est à l'origine de la majorité des *jökulhlaups* qui ravinent les émissaires de la calotte du Vatnajökull (figures I.12 et I.13). À l'heure actuelle, ces crues détruisent surtout les infrastructures routières comme la route nationale 1.

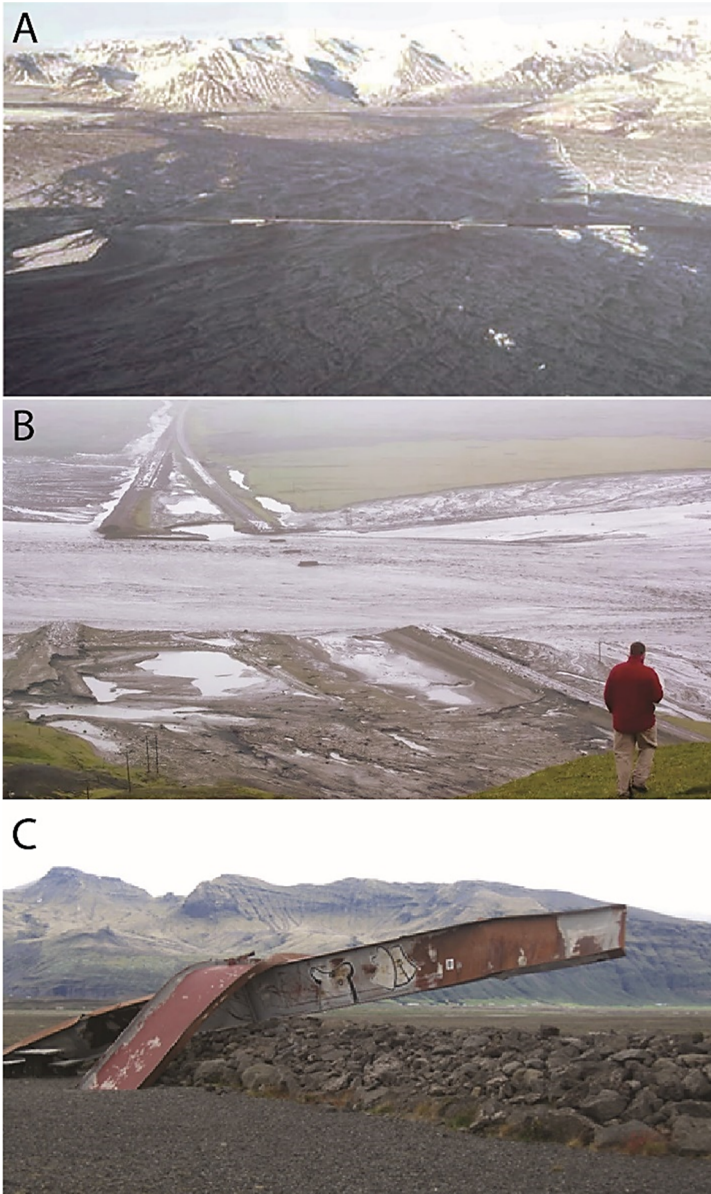


**Figure I.11.** *Caldera nord du Grímsvötn* (© Ragnar Sigurdsson)

Au nord de l'Islande, l'activité volcanique est également importante, en association avec le rift du nord et de nombreux champs géothermiques y sont exploités, comme celui du Krafla au nord-est du lac Myvatn (figures I.14 et I.15).

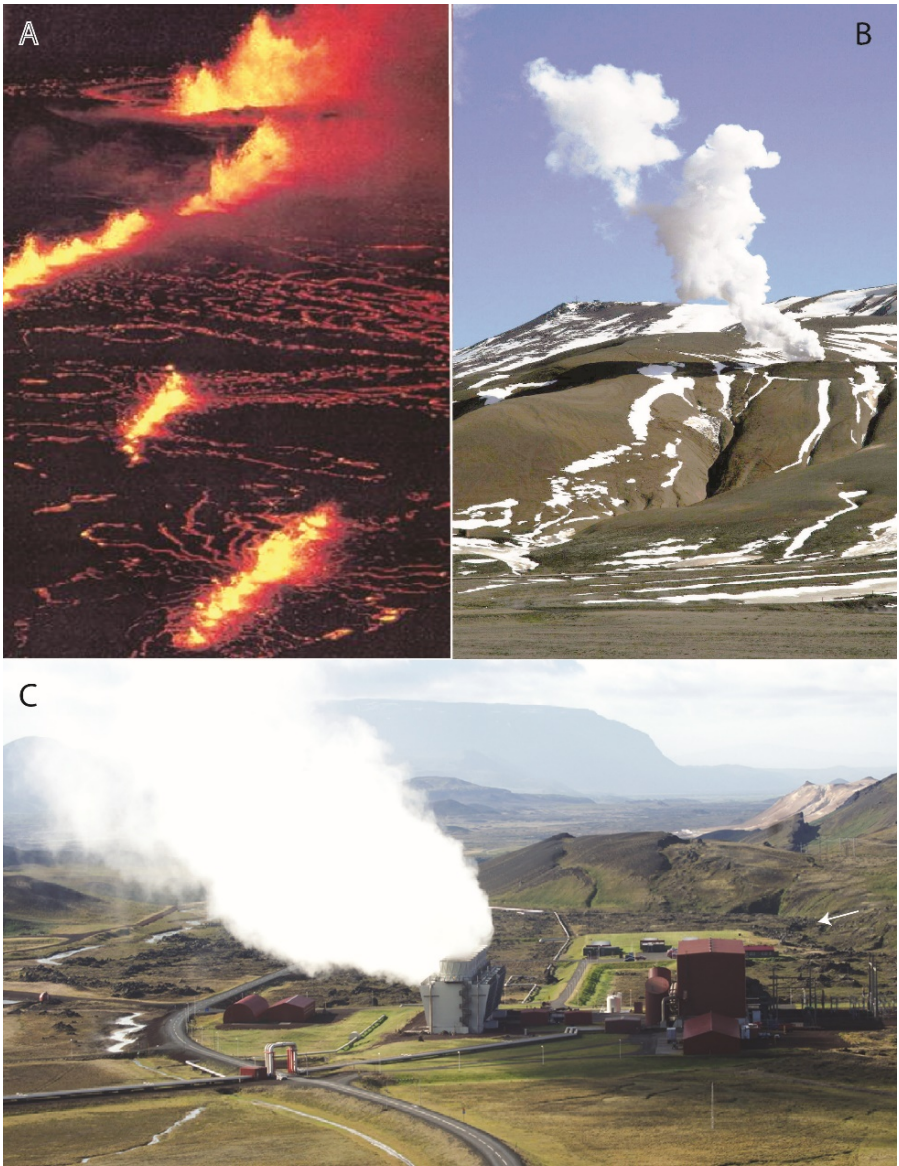


**Figure I.12.** Le volcan Grimsvötn. A) Amorçe de l'écoulement vers le nord associé à un affaissement de la masse glaciaire (soleil à l'ouest) qui entraîna le grand jökulhlaup de novembre 1996 (© Oddur Sigurðsson). B) Cratère du Grimsvötn à la fin de l'éruption de 2011 (© Dima Moiseenko). C) Téphras basaltiques interstratifiés et déformés dans la langue terminale du Brúarjökull (LMIs).

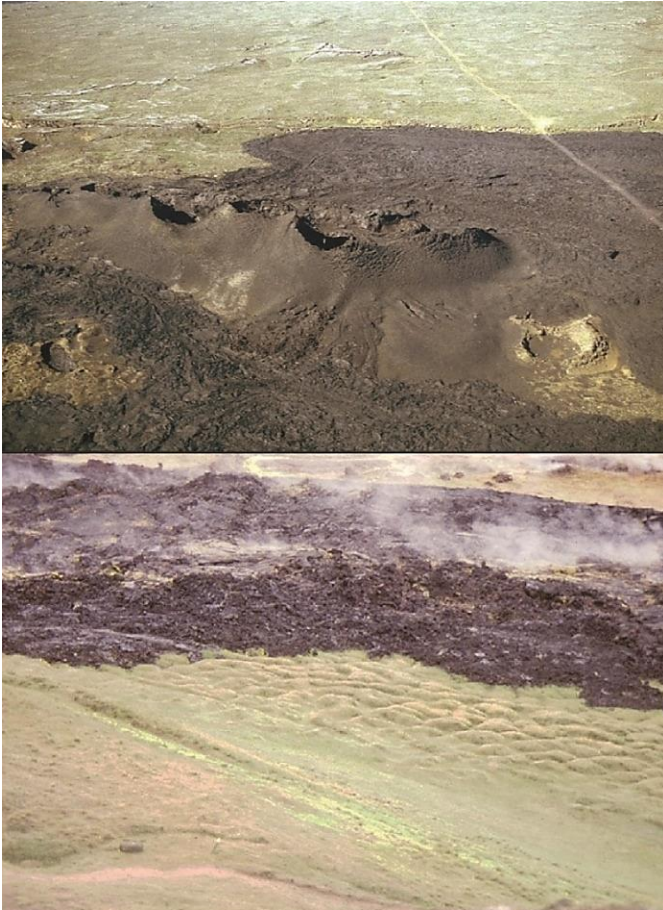


**Figure I.13.** A) Les jökulhlaups de la rivière Skafta en provenance du Grimsvötn en 1996 (© M.T. Gudmundsson) et B) la route n° 1 en 2011 (© Veðurstofa Íslands), fréquemment réparée depuis 1970, avec C) le monument commémoratif du jökulhlaup de novembre 1996 : deux énormes morceaux du tablier métallique de l'ancien pont, tordus comme de vulgaires fils de fer (© Françoise Bergerat) !





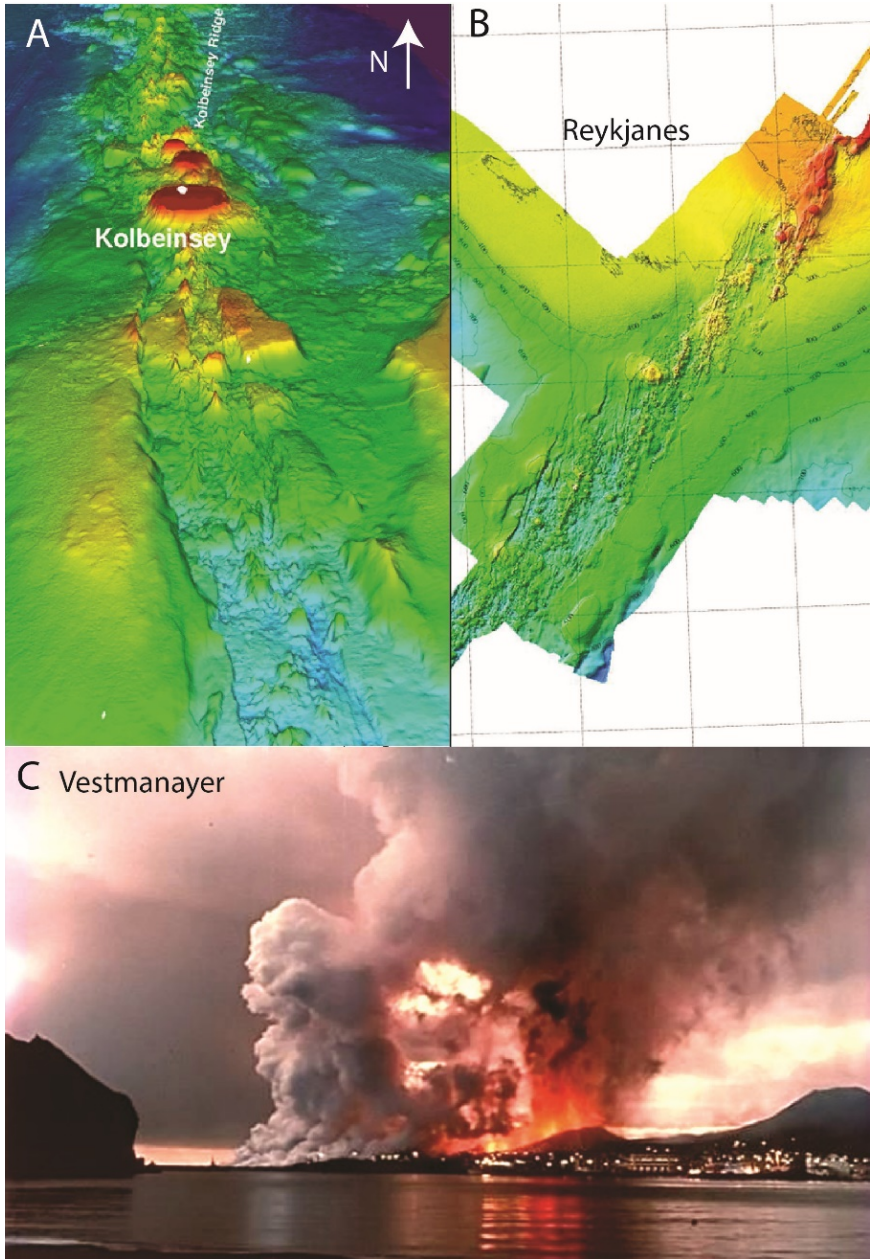
**Figure I.14.** A) Éruption fissurale du Krafla en 1980, le long de fractures disposées en échelons. B, C) La centrale géothermique (C) a échappé de peu à la destruction par les coulées de lave (coulée avec flèche blanche) (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)



**Figure I.15.** Éruption du Krafla de 1980 : hornitos sur fractures et coulées en 1997 (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)

Cette activité volcanique se produit également en mer, aussi bien au nord dans la ride de Kolbeinsey et son île intermittente (point blanc sur la figure I.16A) qu'au sud-ouest dans la ride de Reykjanes, ou encore dans le chapelet des îles Vestmann, prolongement méridional de la zone volcanique est.

Ces dernières ont été l'objet d'une première éruption sous-marine en 1963 (édification du volcan Surtsey), puis d'une éruption fissurale (suivie d'une phase stromboliennne) détruisant en partie la ville de Vestmanayer sur l'île principale d'Heimaey en 1973.



**Figure 1.16.** A) Les rides sous-marines de Kolbeinsey et B) de Reykjanes (images de sondeur multifaisceaux, HAFRO.is). C) L'éruption d'Heimaey, édifiant la « montagne de feu » (Eldfell) en 1973





**Figure I.17.** Trace de la faille sismique de Réttarnes (1294 ou 1732 ?) dans le Rangavellir : zone sismique sud-islandaise (© Françoise Bergerat)

En relation avec l'activité volcanique et surtout avec l'activité tectonique, la sismicité est permanente en Islande et des séismes majeurs s'y sont régulièrement produits, particulièrement dans les péninsules du nord (secteur d'Húsavík) ainsi que dans tout le sud de l'île. Pour peu qu'on traverse les champs de lave entre Hveragerði et l'Hekla, on y croise de nombreuses traces – remarquablement conservées (figure I.17) – de séismes historiques majeurs ( $M > 6$ ).

Si dans le nord de l'île les séismes actuels se produisent surtout en mer, les agglomérations de Húsavík et Kopasker sont cependant loin d'être à l'abri d'un événement sismique important et au sud, plusieurs séismes majeurs se sont produits très récemment ( $M_w$  6-7 ; juin 2000, mai 2008).

Si les maisons islandaises sont relativement peu sensibles aux séismes (figure I.18), il n'en est pas de même pour les infrastructures routières ou les serres. La remontée ou la baisse temporaire de nappes phréatiques ou de lacs sont fréquentes, réactivant ou désactivant des geysers et provoquant des échappements de fluides. C'est particulièrement le cas dans la région de Hveragerði ou de Geysir : Strokkur est actuellement le plus actif et le Grand Geysir est pour le moment intermittent (figure I.19).



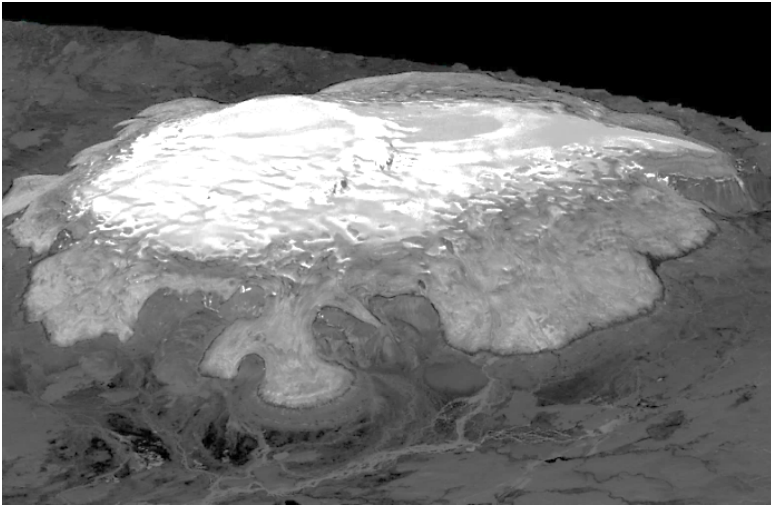
**Figure I.18.** Destructions lors des séismes de juin 2000 à Bitra (© Françoise Bergerat) : A, B) bâtiments de la ferme, C) route n° 1) ; et de mai 2008 à Hveragerði (© Brigitte Van Vliet-Lanoë) : D) canalisations disloquées et serres endommagées



**Figure I.19.** Phases successives d'une explosion du geyser de Strokkur, champ géothermique de Geysir (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)



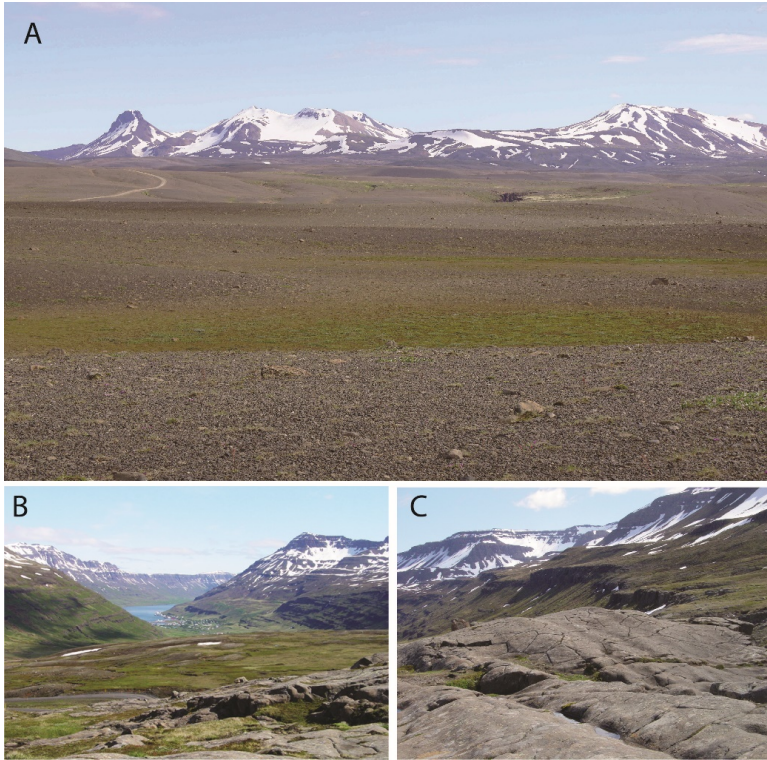
Le pôle froid de l'Islande, ce sont ses glaciers, actuellement relativement peu étendus mais qui ont recouvert pratiquement toute l'île lors de la dernière glaciation, inhibant l'activité d'une grande majorité des volcans. Ils se sont installés la plupart du temps au sommet des édifices volcaniques constituant les points hauts de l'île comme le Vatnajökull (2 009 mètres au Bárðarbunga) ou le Hofsjökull (1 765 mètres au Habunga ; figure I.20).



**Figure I.20.** Le Hofsjökull. Document réalisé à partir d'images radar (© CNES). La caldera se situe en haut à gauche

Ces glaciers ont profondément sculpté l'île depuis le Néogène, avec des vallées glaciaires profondes, des roches moutonnées ou striées, d'innombrables drumlins et de grandes surfaces de sédiments glaciaires abandonnés sur le plateau central, notamment autour du Kerlingarfjöll (figure I.21). Certains volcans ont des morphologies typiquement sous-glaciaires comme les volcans tabulaires ou tuyas, dont le représentant le plus connu est l'Herðubreid (figure I.22). D'autres forment des alignements de crêtes, les *tindar*, qui se sont formés en marge des calottes en cours de fonte (figure I.23).

Les eaux issues de ces glaciers ont aussi façonné des canyons hébergeant d'immenses cascades, sur des rivières puissantes aux eaux grises et chargées, les *jökullsa* (figures I.23 et I.24). Ces eaux sont actuellement collectées pour une importante production hydroélectrique à finalité principalement industrielle (aluminium et métaux rares extraits de minerais importés). Cette ressource représente 72 % de la production électrique islandaise.



**Figure I.21.** A) Le Kerlingarfjöll entouré de son désert glaciaire. B) Cirque amont perché et C) roches moutonnées des fjords de l'est (Mjóifjörður, au sud de Seiðfjörður) (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)



**Figure I.22.** Un volcan tabulaire sous-glaciaire : l'Herðubreið, au nord du Vatnajökull, zone volcanique nord (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)



**Figure I.23.** Jökulsá á Kreppa au nord du Vatnajökull avec ride de hyaloclastites ou tindar (© Brigitte Van Vliet-Lanoë)



**Figure I.24.** Une ressource islandaise capitale : l'eau. A) Exutoire du Bruarjökull (le glacier est en bas de la photographie) (© LMIs). B) Une des cascades de Dettifoss (Jökulsá á Fjöllum). C) Le barrage de Haslson sur la Jökulsá á Brú. D) L'usine d'aluminium de Fannahlið (Hvalfjörður) (photos B, C, D © Brigitte Van Vliet-Lanoë).

Différents exutoires de calottes sont actuellement aménagés, les eaux stockées dans de très grands barrages, généralement superposés sur un même cours et aménagés pour résister à des *jökulhlaups* de rang interglaciaire. Le réchauffement climatique de ces dernières décennies et le volcanisme potentiellement induit sont susceptibles de remettre en cause cette politique.

À terre, l'Islande n'a comme ressources importantes et renouvelables que son eau et, en conséquence, son hydroélectricité, ainsi que ses nombreux sites géothermiques liés à la présence du point chaud.

Dans cet ouvrage en deux volumes, nous vous présenterons l'histoire géologique et glaciaire de cette île, son fonctionnement tectonique et volcanique actuel et l'impact de sa formation sur l'évolution climatique des derniers millions d'années. Le volume 1 (Van Vliet-Lanoë 2021) replace l'Islande dans le cadre géologique de l'Atlantique Nord, et décrit son évolution tectonique et géodynamique. Ce deuxième volume est dédié à l'étude des interactions entre le volcanisme islandais et la géodynamique externe, c'est-à-dire avec les glaciations et l'évolution climatique de la zone Atlantique durant le Néogène et le Quaternaire.