

L'Islande et le risque volcanique

Une éruption qui a pris tout le monde par surprise. On l'attendait pour plus tard, la terre ne tremblait pas encore beaucoup. Les paysans dans leurs champs surent les premiers qu'ils étaient condamnés. L'éparpillement et le faible nombre de personnes concernées limitaient de toute façon la probabilité de secours.

Le panache de cendres ne cessait d'enfler, bientôt les bombes volcaniques allaient commencer à tomber. On voyait la lueur de la lave lointaine se refléter sur les particules en suspension dans l'air. Bien sûr, ils allaient essayer de fuir. Mais leur voiture allait tomber en panne trop vite, trop tôt pour les mettre hors de danger, rendant leur dernier soupir étouffée par la poussière. Puis les routes seraient coupées.

Compter sur d'hypothétiques secours ne servait à rien, le nuage de cendre bloquait les airs et la terre, et de toute façon plus aucune communication ne passait.

Scénario

Préface

Imprévisibilité des éruptions

Signes avant-coureurs et prévisions

Tremblement de terre
Gaz volcaniques
Trémor volcanique
Déformation du cône

Caractéristiques générales de l'Islande

Géographie

Taille et isolement de l'Islande
Formation géologique
Glaciers et Hautes Terres
Volcans

Population

Répartition de la population
Bassin de transport
Touristes

Economie

Emploi par secteur
Population à risque
Energie

Violence du paysage

Lumière
Température
Vent

Quels risques

Risques pris en compte pour ce travail

Téphra
Jökulhlaups
Risques non pris en compte dans ce travail
Échelle d'éruption
Carte des risques

Conséquences potentielles

Humains
Bâtiments
Mobilité

A la recherche d'une réponse proactive

Évacuation standard

Bunker personnel ou communautaire
Multiplication des cabanes de survie
Capsules d'éjection en mer

Préface

« L'Île est depuis toujours un objet de fascination. »

N'échappant pas à la règle, L'Islande a ce vernis de *terra incognita* qui pousse à l'exploration. Le caractère d'une île ne sachant être réduit à son isolement, c'est par l'expérience physique du territoire que ma recherche a commencé.

De cette confrontation à la condition insulaire islandaise est ressortie la qualité incontournable de la violence du paysage. Une des manifestations les plus intelligibles de celle-ci est le volcanisme de l'île. Il se produit ainsi une éruption tous les trois à quatre ans en Islande.

Ce travail présente l'île vue sous l'angle d'une probable éruption majeure, et des possibles interventions de mitigation du risque, avant une catastrophe.

Énoncé théorique
Master en Architecture
Janvier 2013 EPFL

Etudiant
Nicolas Feihl

Résponsable de l'énoncé théorique
Prof. Christian Gilot

Directrice pédagogique
Prof. Jeannette Kuo

Maître EPFL
Petra Josen

IMPRÉVISIBILITÉ DES ÉRUPTIONS

Signes avant-coureurs et prévisions

Tremblement de terre

Gaz volcaniques

Trémor volcanique

Déformation du cône

*Une éruption qui a pris tout le monde par surprise.
On l'attendait pour plus tard, la terre ne tremblait
pas encore beaucoup.*

Signes avant-coureurs et prévisions

Il existe plusieurs signes annonçant la survenue d'une éruption volcanique. Malheureusement, il n'en existe aucun le prévoyant avec certitude plus de quelques heures à l'avance. La majeure partie de ces signes ne font que souligner l'augmentation de la probabilité de catastrophe et pas l'assurance de sa réalisation.

Les principales manifestations liées à l'imminence d'une éruption sont l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tremblements de terre dans la zone du volcan, un échappement de gaz du cratère ou du système de failles connexes, une déformation du cône, ainsi que le trémor volcanique (Munro and Parkin 1999). Chacune correspond à une échelle temporelle différente.



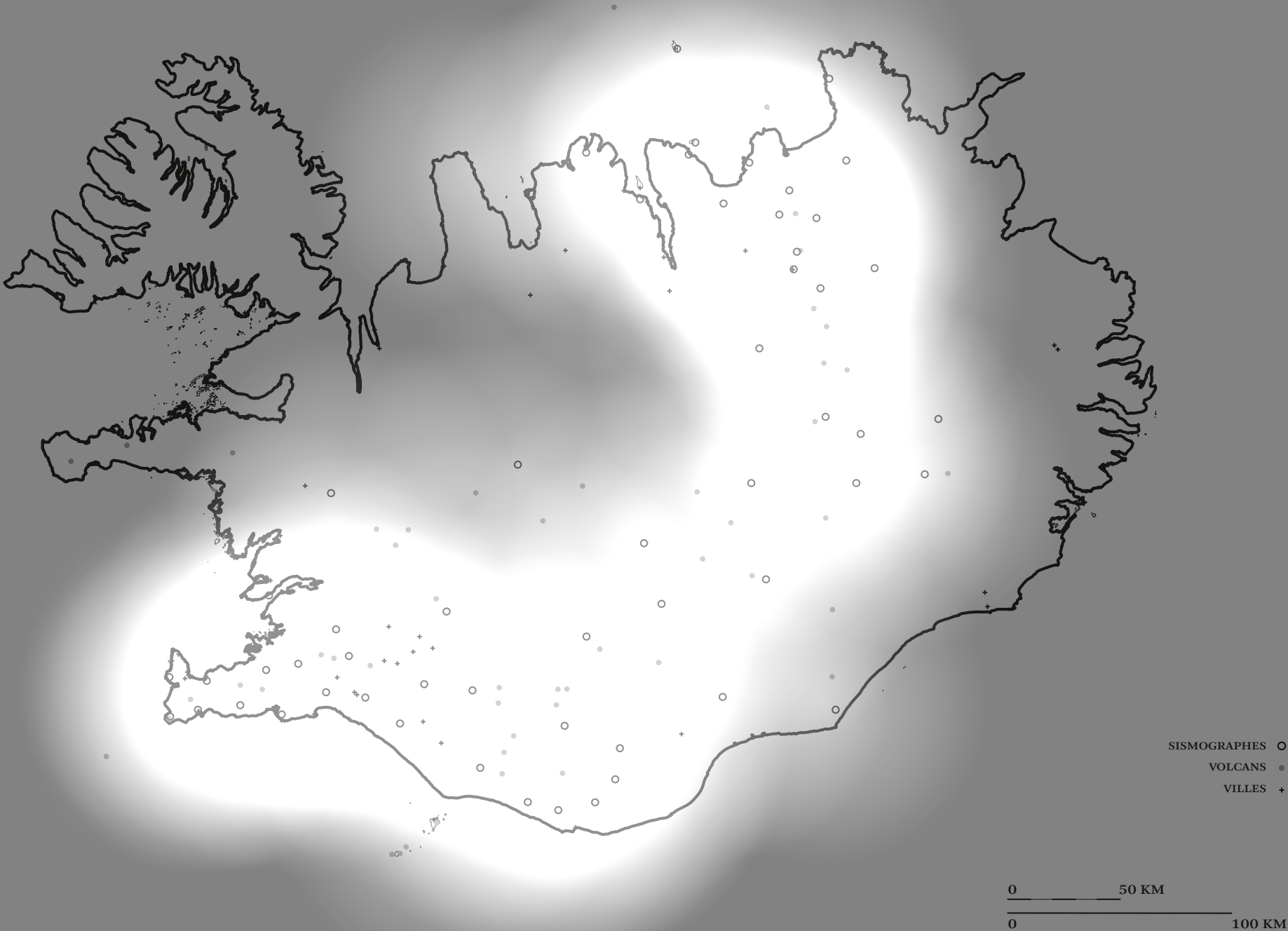
Augmentation de la sismicité locale

Les tremblements de terre sont un phénomène normal et courant dans les zones d'activité volcanique. Leur amplitude est généralement assez faible pour qu'ils ne soient pas ressentis par le corps humain. On considère en effet qu'en dessous d'une magnitude de 3, un humain ne s'aperçoit pas de la vibration. Certains animaux sont par contre bien plus sensibles.

Une technique utilisée pour prévoir les éruptions volcaniques est donc d'observer sur une période de temps suffisante l'évolution des tremblements de terre dans le secteur associé au volcan (Karlsdóttir et al. 2012). Cette approche ne fonctionne que sur le long terme et quelques secousses ne sauraient constituer un signe probant.

Ces soubresauts sont dus aux remontées de magma qui perturbent l'équilibre dans la croûte terrestre. Ce même magma peut à terme produire une éruption.

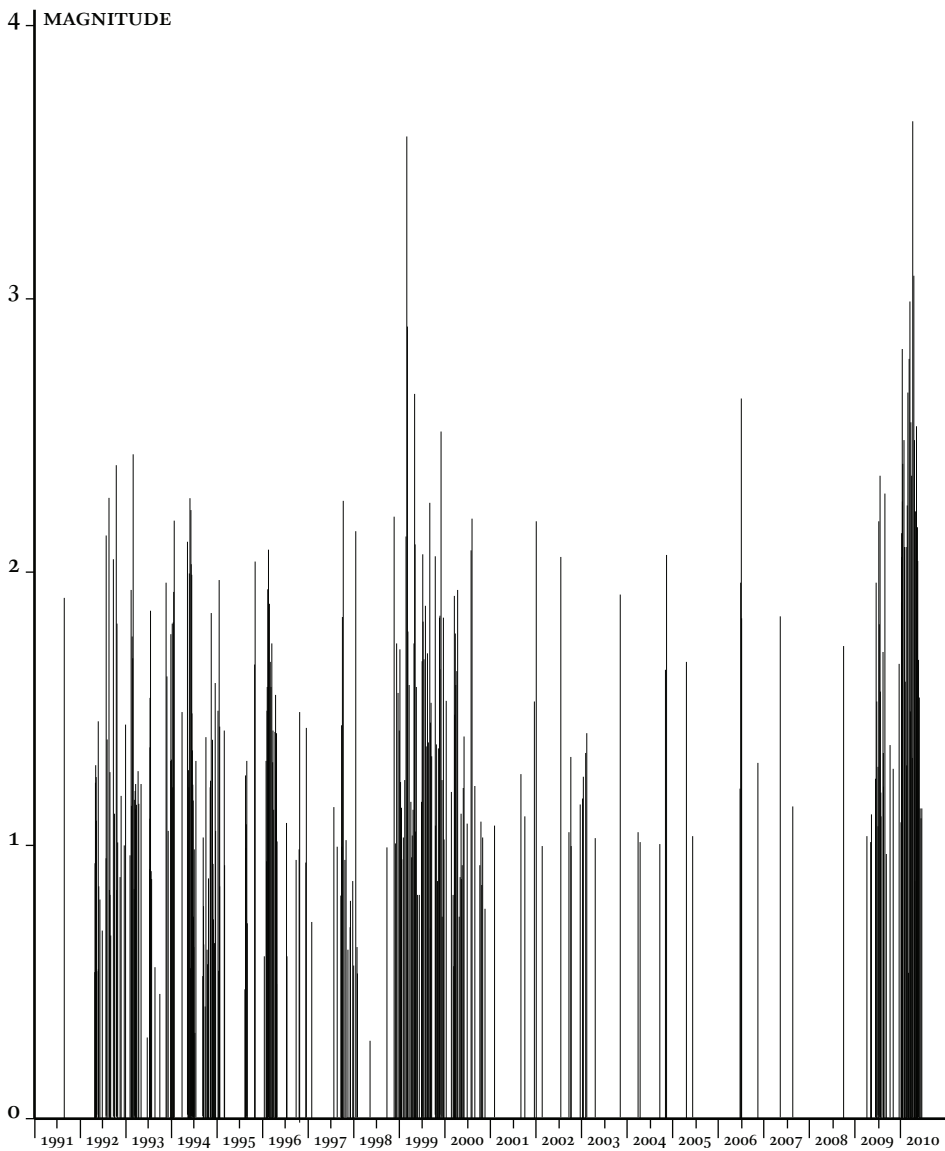
STATIONS SISMIQUES



Comme dit précédemment, l’augmentation de l’occurrence de tremblements de terre dénote une instabilité et l’accroissement du risque d’éruption, mais en aucun cas ne permet de prévoir sa réalisation. L’exemple contemporain du volcan Eyjafjallajökull qui est entré en phase éruptive en 2010 est intéressant. Si l’on regarde la magnitude et la fréquence des tremblements de 1992 (date de la mise en service du système digital islandais de surveillance) jusqu’à 2010, on voit que plusieurs épisodes d’agitation ont eu lieu (1994,1996 et 1999-2000) sans pour autant donner lieu à une éruption.

La surveillance de la sismicité locale est importante, car si elle ne permet pas de prévoir précisément le début d’une éruption, elle offre un moyen d’en estimer le risque à un moment donné. Dans le cadre de la gestion des risques, un tel système permet de varier les niveaux d’alertes.

Graphe des tremblements de terres ayant eu lieu dans la zone de l’Eyjafjallajökull



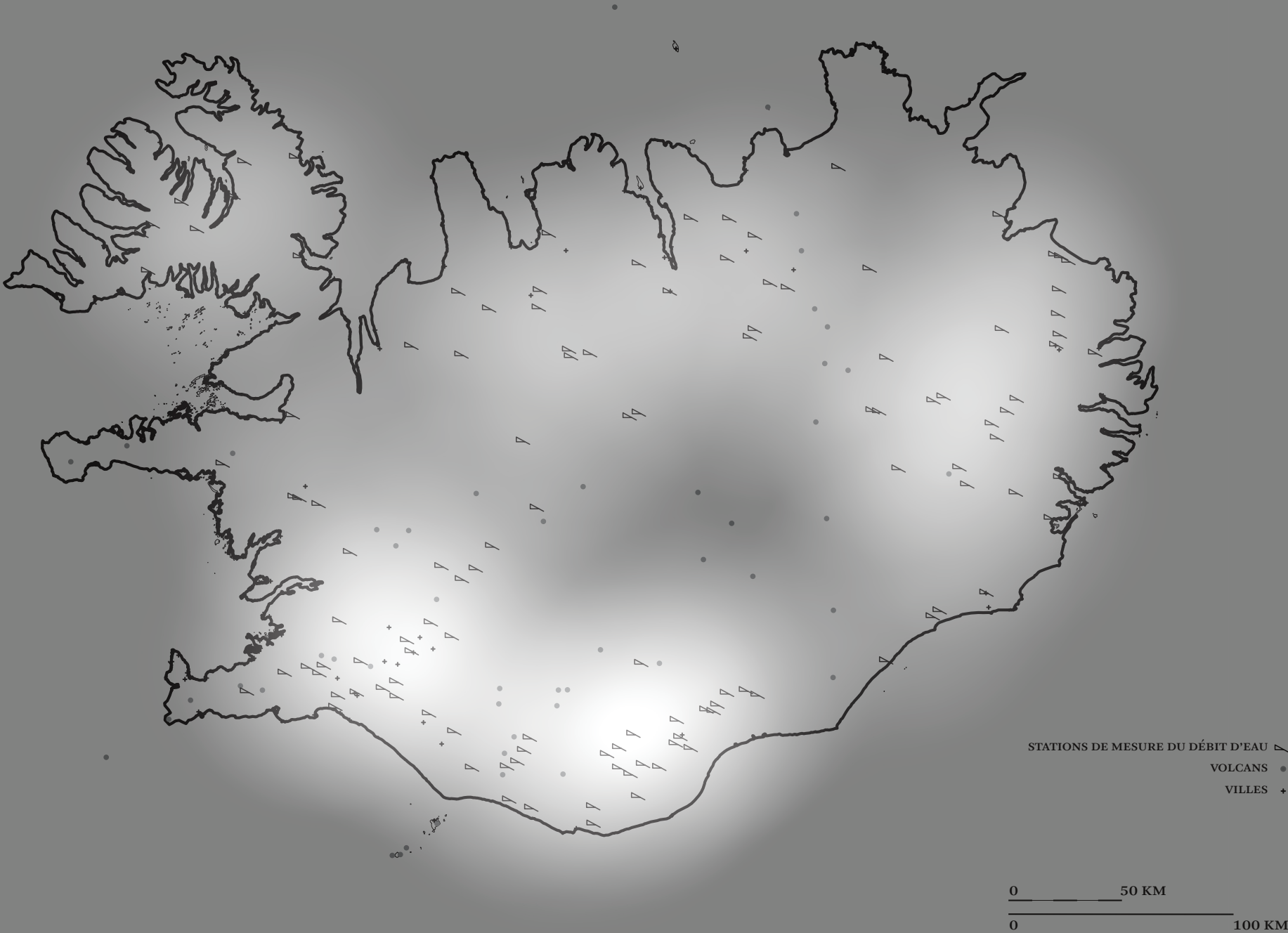
Gaz volcaniques

La variation de quantité de gaz volcaniques émis ainsi que leur nature est un autre facteur pouvant renseigner sur l'imminence d'une éruption. Les gaz relâchés proviennent du dégazage du magma. Leur émission a lieu aussi bien pendant, qu'entre deux éruptions.

Lorsque le magma est en profondeur, les gaz ont tendance à rester dissous du fait de la pression très élevée. Une augmentation des gaz libérés peut être le signe d'une montée du magma. La pression diminuant, les gaz dissous forment des bulles qui s'échappent en partie. Similairement, une diminution du débit de gaz observé normalement peut aussi être le signe d'une remontée magmatique. En effet, si le magma est très visqueux il arrive qu'il bouche les cheminées et les porosités. Une plus grande quantité de gaz restant prisonnière, le dégazage lors de la sortie de la lave est d'autant plus violent, augmentant l'explosivité de l'éruption (Kaminski 2013).

Les gaz qui s'échappent sortent sous forme de fumerolles ou se retrouvent dissous dans l'eau avoisinante. Différentes techniques existent pour les détecter. Les plus précises nécessitent encore de récolter des échantillons sur place, et ont donc le désavantage d'être risquées.

STATIONS HYDROLOGIQUES



Une technique simple mais peu précise consiste à mesurer la conductivité des rivières sortant de la zone volcanique considérée. Les gaz dissous dans l'eau modifient en effet sa résistance électrique. De telles stations de mesures existent en Islande.

Dans le cas de L'Eyjafjallajökull cité plus haut, ce système ne s'est pas révélé efficace. Ce n'est que lors de la deuxième phase de cette éruption que la conductivité a augmenté. Une raison avancée est que la dissolution dans l'eau des composants prend du temps (de l'ordre de quelques mois) et ne permet donc pas de détecter une montée rapide du magma.

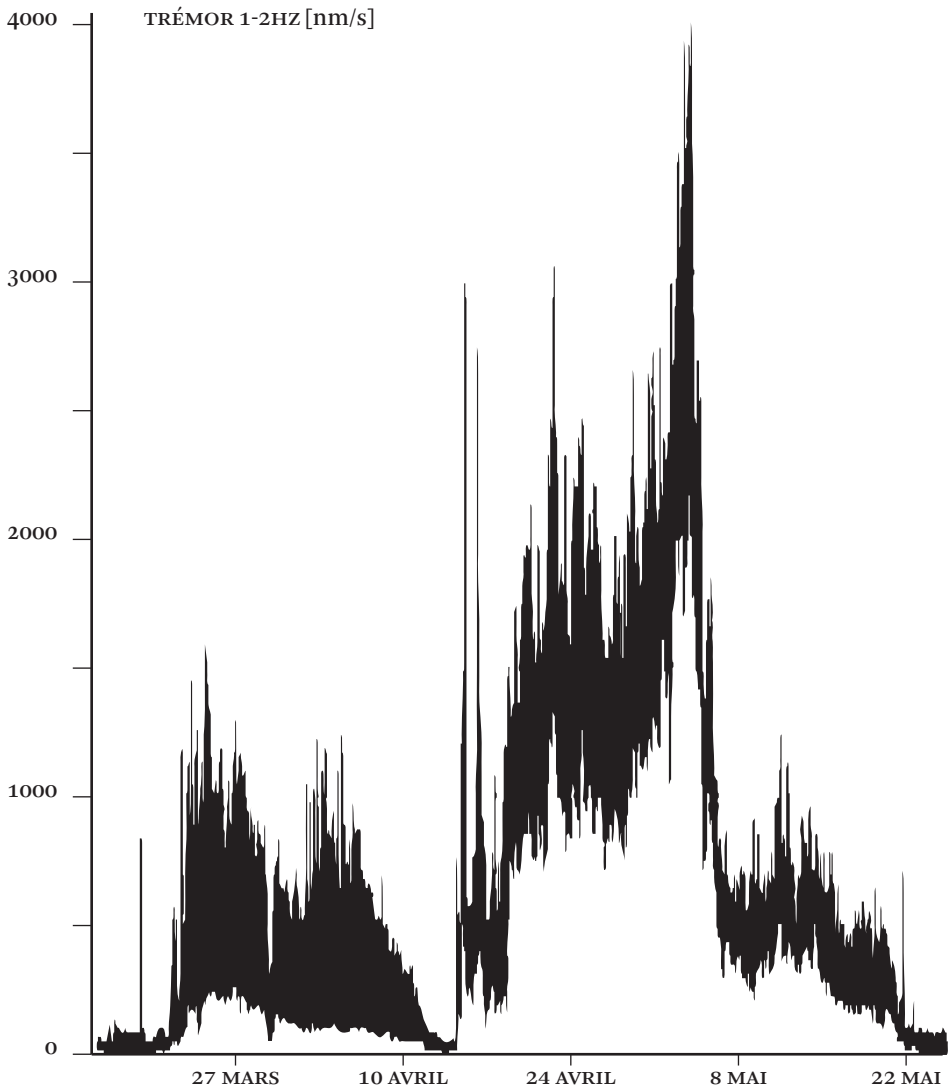


Trémor volcanique

Le trémor volcanique est une vibration de basse fréquence (de 1 à 5 Hz) qui résulte de l'écoulement turbulent des fluides (magma et gaz) à l'intérieur des volcans (Univ Savoie 2013). En Islande, les fréquences de 0.5 à 4 Hz sont surveillées par les mêmes stations utilisées pour détecter les tremblements de terre. La remontée de magma dans la chambre magmatique est la principale raison de ces oscillations. C'est pourquoi ce trémor est un outil fiable pour détecter l'imminence d'une éruption. Des six éruptions ayant eu lieu en Islande depuis l'installation du système (1996), toutes ont donné lieu à l'observation de ces vibrations (Karlsdóttir et al. 2012).

Cependant, ces signaux n'apparaissent parfois que quelques minutes avant le début de l'éruption. S'ils sont un moyen univoque de prévoir celle-ci, ils ne sont toutefois pas la panacée en terme de prévention. Lors de l'éruption de l'Eyjafjallajökull, ces trémors ont bien été observés avant le 20 mars, mais ils étaient d'intensité trop faible pour générer une alerte par le système.

Trémor pendant l'éruption de l'Eyjafjallajökull



Déformation du cône volcanique

Un dernier indicateur à plus long terme est l’observation du gonflement du cône volcanique. Plusieurs méthodes existent, certaines au sol, d’autres liées à l’imagerie satellite ou aérienne (Hooper, Prata, and Sigmundsson 2012). Pour la veille volcanique, les solutions au sol sont privilégiées, car elles fournissent un flux continu de données. Une des techniques les plus utilisées ces dernières années en Islande est l’implantation de stations GPS.

La déformation des dômes volcaniques est due aux mouvements de magma et son infiltration dans les fissures. Elle est souvent corrélée à l’augmentation de sismicité, et comme elle, n’est qu’un indicateur de l’augmentation du risque mais ne permet pas de prévoir si une éruption va véritablement avoir lieu.

STATIONS GPS GÉODÉTIQUES



CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ISLANDE

Géographie

Taille et isolement de l'Islande

Formation géologique

Glaciers et Hautes Terres

Volcans

Population

Répartition de la population

Bassin de transport

Touristes

Economie

Emploi par secteur

Population à risque

Energie

Violence du paysage

Lumière

Température

Vent

Les paysans dans leurs champs surent les premiers qu'ils étaient condamnés. L'éparpillement et le faible nombre de personnes concernées limitaient de toute façon la probabilité de secours.

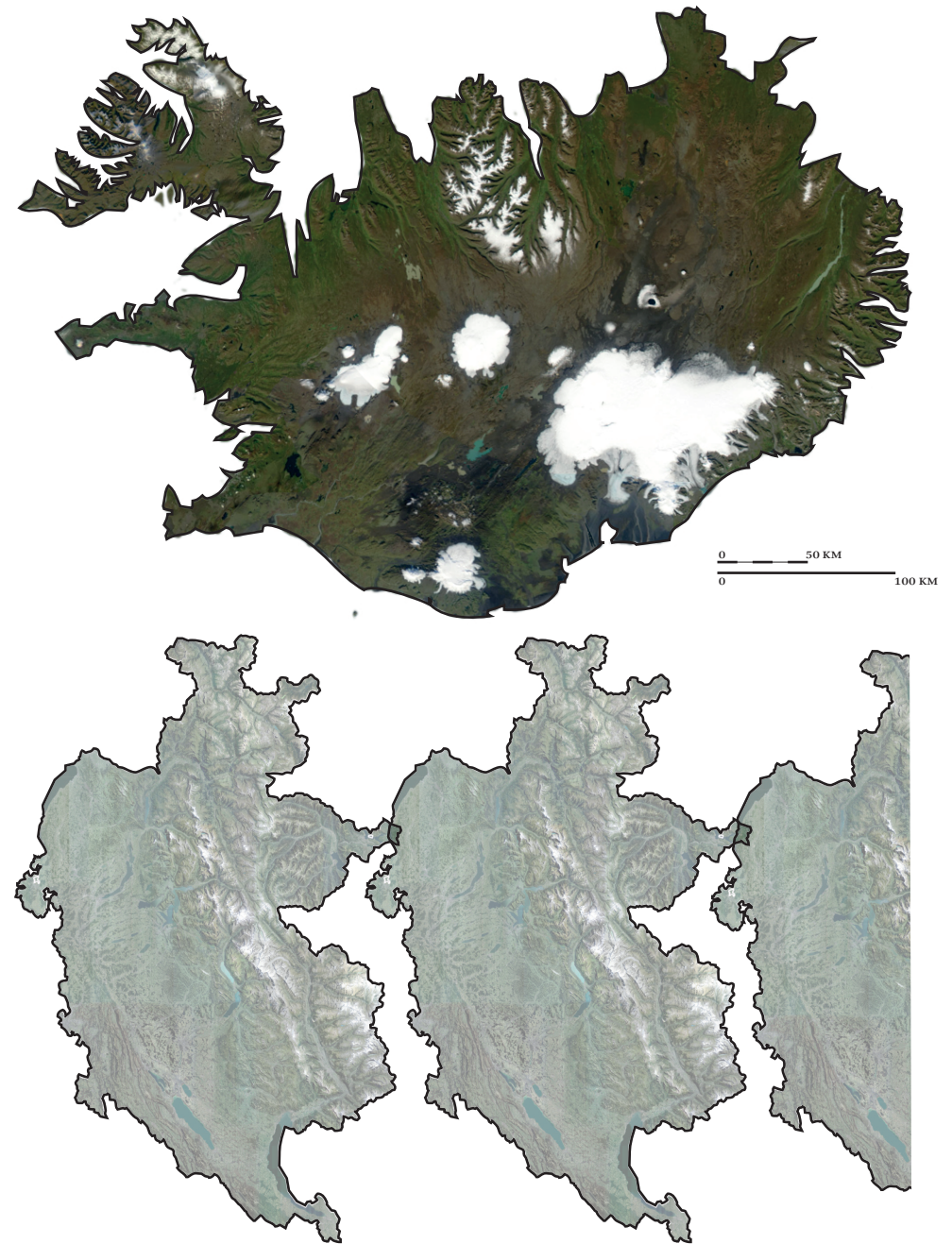
Géographie

« Ce qui différencie l'île de l'isolat montagnard ou de l'oasis, c'est la netteté de la rupture entre le microcosme et son environnement liquide, qui affecte la représentation que l'on a de cet espace au point d'en faire le symbole du monde clos »

(Saussol)

L'Islande est une île. Il est toujours difficile de caractériser une île. Les géographes ne se sont pour l'instant pas encore entendus suffisamment pour former un consensus sur le sujet, savoir comment quantifier son insularité, sa distance —physique ou culturelle— par rapport aux autres terres les plus proches. Commençons donc par nous pencher sur quelques traits physiques.

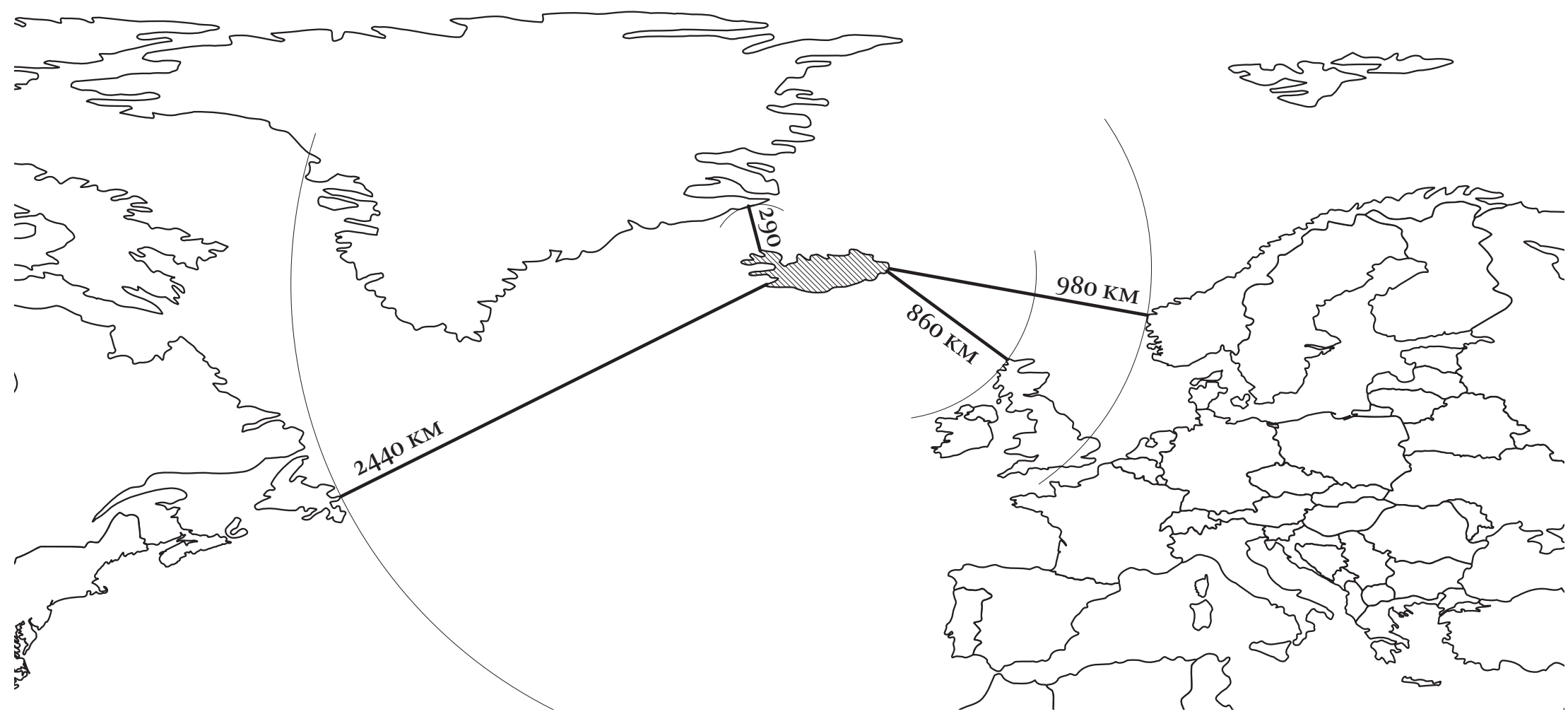
L'Islande fait à peu près deux fois et demie la superficie de la Suisse. Soit 103'001km².



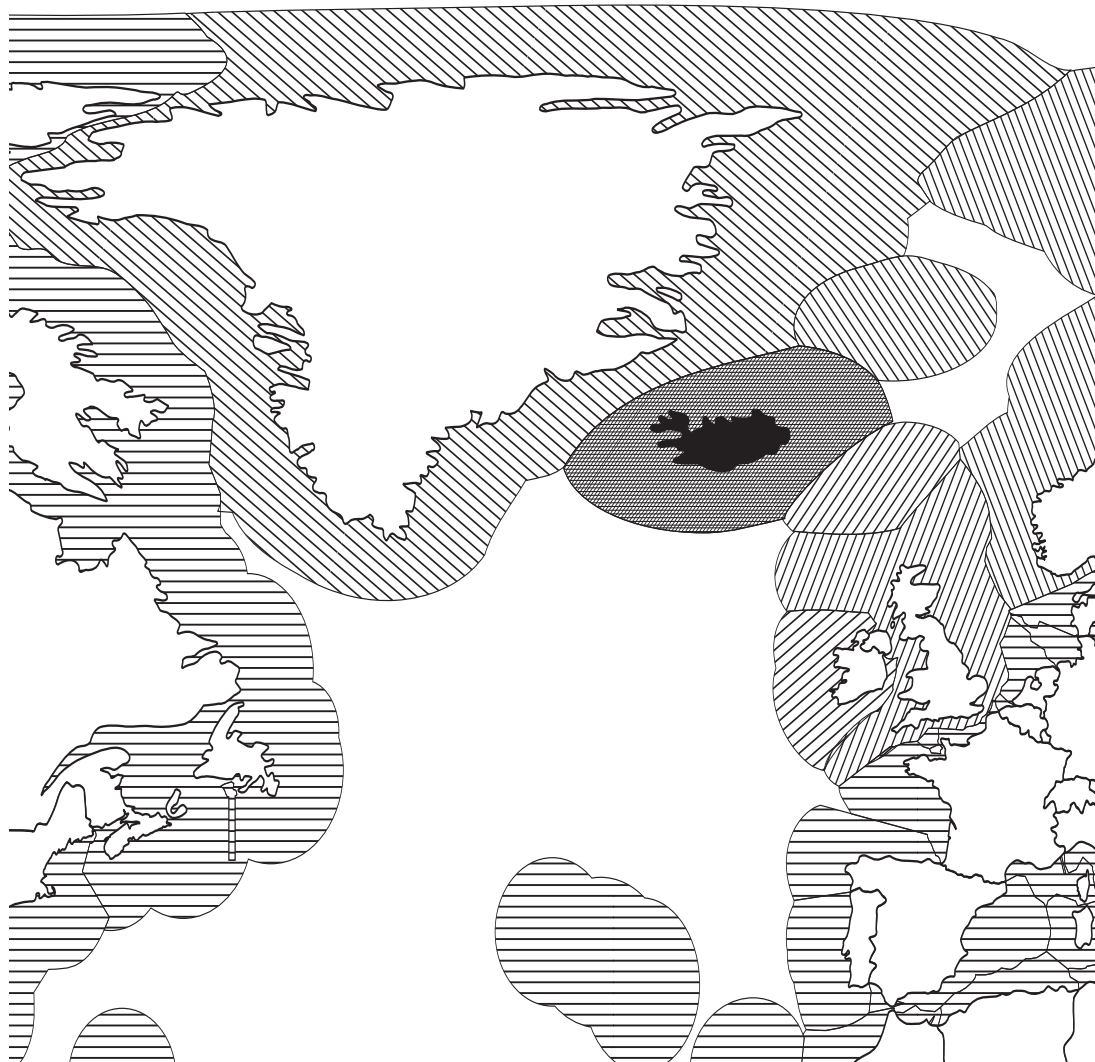
Taille et isolement de l'Islande

Une première manière de regarder l'isolement d'une île est de simplement considérer la distance à ses voisins. La terre la plus proche, hormis les îles Féroé, est le Groenland situé à quelque 290km au nord-ouest. La côte européenne la plus proche est celle de l'Écosse à 860km.

Carte de quelques distances entre l'Islande et le reste du monde



Carte de la ZEE de L'Islande et des pays l'entourant



Un autre moyen d'observer le degré d'insularité d'une île est de regarder le ratio entre la surface de sa zone économique exclusive¹ et celle des terres émergées (Doumenge 1984).

Cela a plusieurs avantages. Premièrement, la taille de l'île influe grandement sur le résultat. Si l'île est très petite, sa ZEE est proportionnellement très grande (exemple : Nauru avec une surface de seulement 21.3km² pour une ZEE de 308'480km², sur un ratio de 14'500). Inversement, plus l'île est grande et plus sa ZEE sera proportionnellement faible (exemple : l'Australie, avec une surface de 7'686'850km² et une ZEE de 8'505'348km², sur un ratio de 1.08).

Plus cet indice est élevé et plus l'île peut être considérée comme isolée (Taglioni 2007). Mais un tel indice pose inmanquablement la question de la nature même d'une île. Où mettre la limite entre île et continent ?

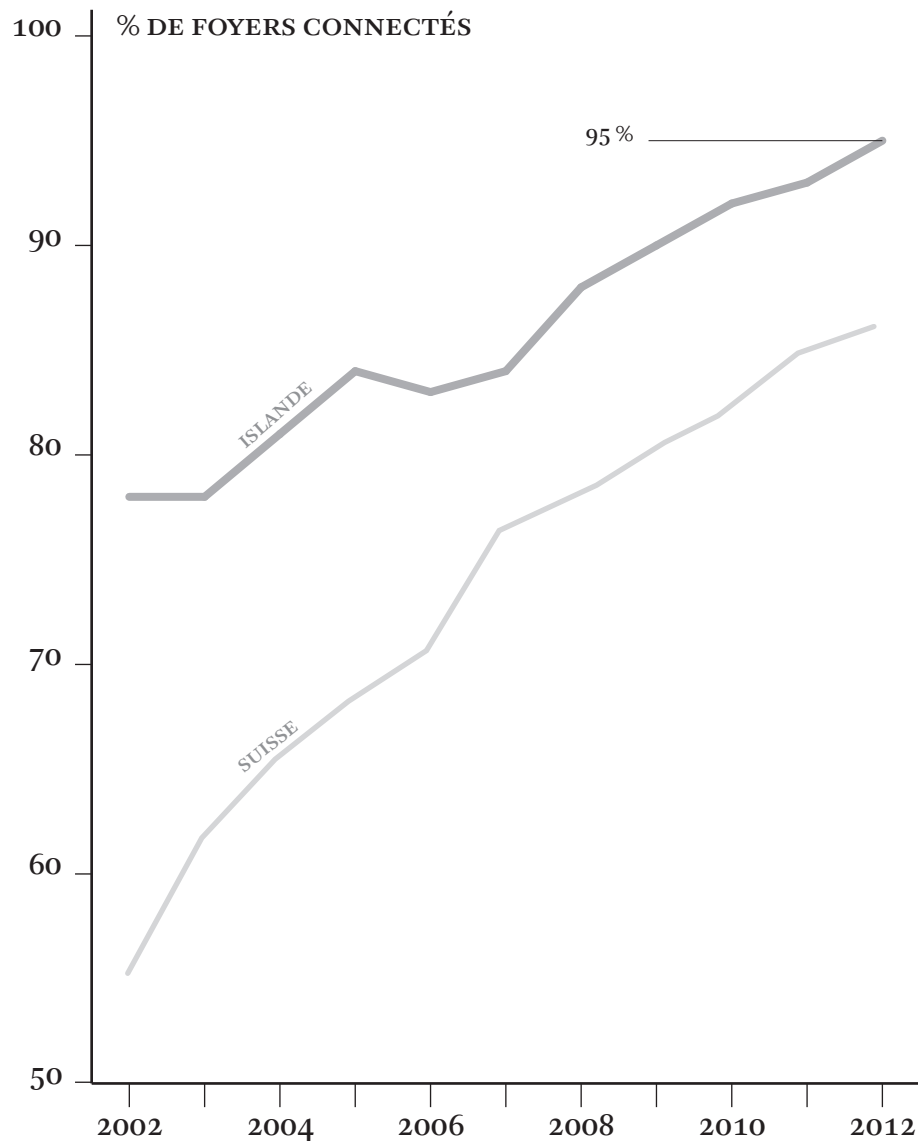
Deuxièmement, la ZEE des îles donne une indication sur leur isolement, car elle est diminuée si le territoire est proche d'une autre côte. Dans le cas de l'Islande, son ratio est de 7.3. Sa ZEE est en contact avec celle du Groenland et des Iles Féroé, tous deux parties du royaume du Danemark (VLIZ 2013).

¹En simplifiant quelque peu, la ZEE est une aire qui s'étend jusqu'à 200 miles (environ 370km) des côtes pour autant qu'elle n'atteigne pas celle d'un autre état, et sur laquelle l'île peut exercer des droits souverains.

Si la distance linéaire avait certainement un sens à une époque, elle est aujourd’hui bien plus questionnable pour définir l’isolement d’un lieu. Pour définir l’isolement actuel, la notion de temps d’accès (ou de distance-temps comme certains aiment à l’appeler), semble plus appropriée. Et force est de constater que de ce point de vue, l’Islande en tant que telle n’est pas ou peu enclavée, voire dispose d’une situation idéale à mi-chemin entre l’Europe et l’Amérique du Nord.

Un autre indicateur contemporain semble être l’accès à l’information et particulièrement à Internet. Avec une connexion effective de 95% de la population (Statistics Iceland 2013), l’isolement contemporain de l’Islande est relatif.

Graphe de l’évolution du nombre de foyers islandais connectés

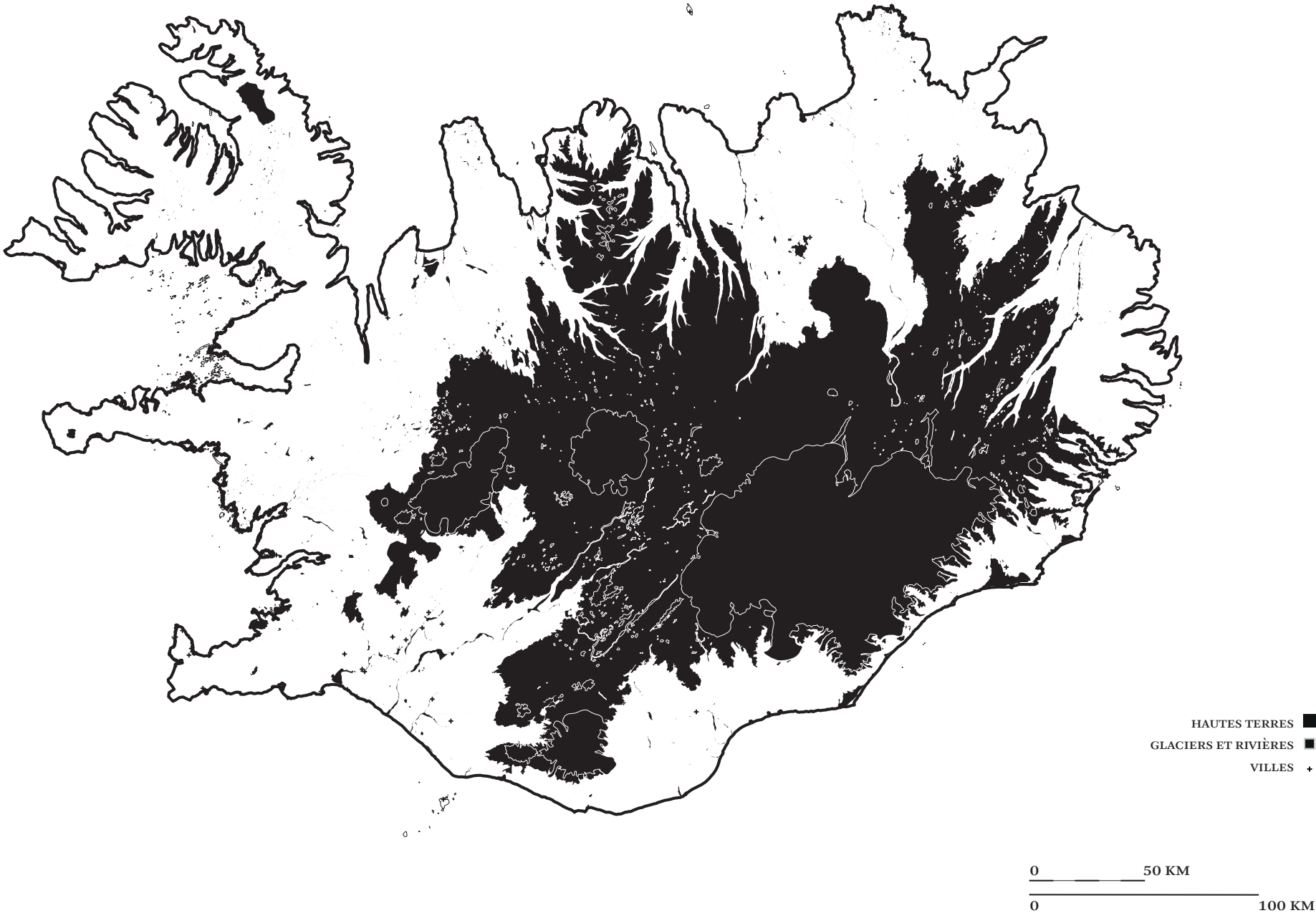


Glaciers et Hautes Terres

Cependant, ces facteurs prennent tous comme référence l’Islande comme entité entière et unitaire face au monde. Or l’Islande est loin d’être un territoire homogène.

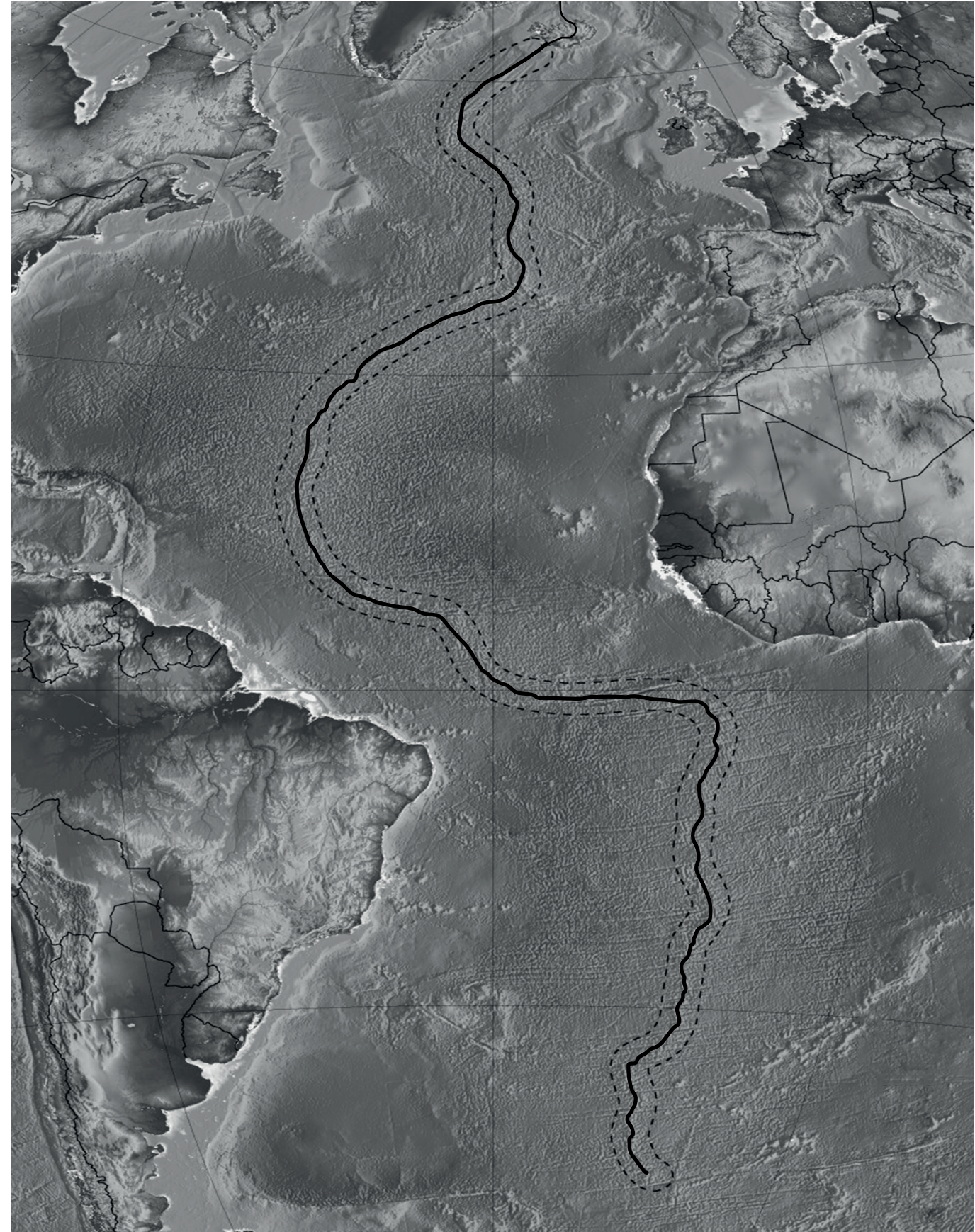
En premier lieu, une grande partie n’en est pas habitable. Environ treize pour cent de l’île sont recouverts par des glaciers (National Land Survey of Iceland 2013). De plus, toute la région centrale appelée les « Hautes Terres » est désertique et de ce fait inhabitée. La terre est dans cette zone trop poreuse pour retenir l’eau de pluie, empêchant toute végétation de s’installer. Il n’existe pas de limites strictes aux Hautes Terres. On considère toutefois généralement que c’est la région au-dessus de 500 mètres d’altitude. Les Hautes Terres ne sont accessibles qu’en été du fait que leurs routes s’apparentent presque systématiquement à des pistes en graviers et les ponts pour traverser les rivières sont plutôt l’exception que la règle.

CARTE DES GLACIERS ET DES HAUTES TERRES



Formation géologique

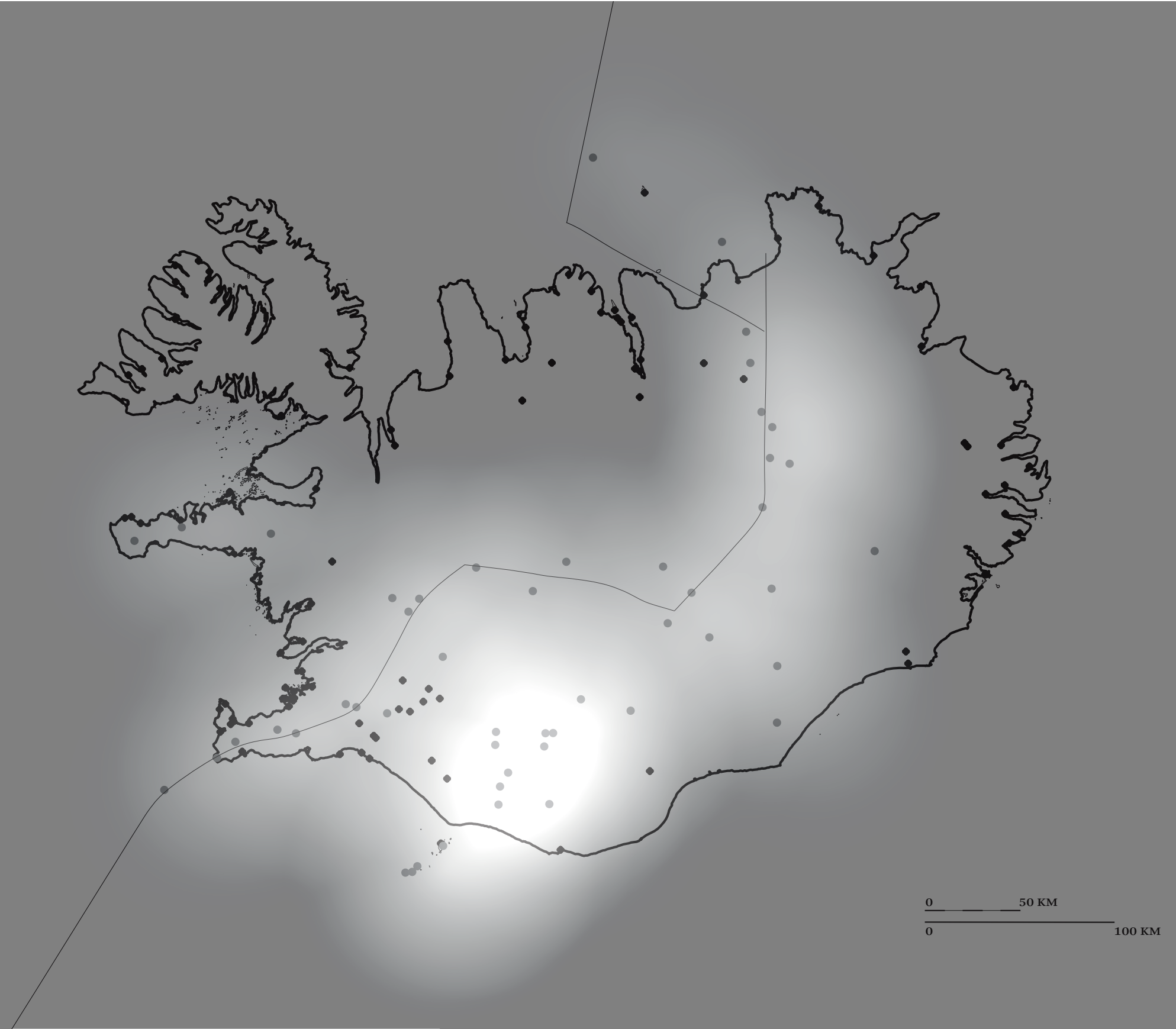
L'Islande est techniquement sur la dorsale médio-atlantique, et donc à cheval sur la plaque tectonique nord-américaine et la plaque eurasienne. L'île a d'ailleurs émergé du fait du volcanisme de point chaud conjugué au phénomène d'accrétion. Les plaques continuant à s'éloigner de un à deux centimètres par année, l'Islande est constamment en train de s'agrandir.



Volcans

L'Islande comporte en outre de nombreux volcans, composant 30 systèmes actifs. Il en existe plusieurs sortes. Les volcans linéaires sont typiques de l'Islande et leur forme allongée est due à la faille atlantique. Les strato-volcans, formés par des laves visqueuses et qui produisent facilement des éruptions explosives. Les volcans-boucliers qui eux, sont constitués de basalte fluide. Et finalement les volcans à caldeiras qui sont extrêmement explosifs, et qui généralement s'effondrent sur eux-mêmes après une éruption.

CARTE DES VOLCANS



Population

L’Islande fait partie de l’Europe pour des raisons historiques et est culturellement proche des pays scandinaves.

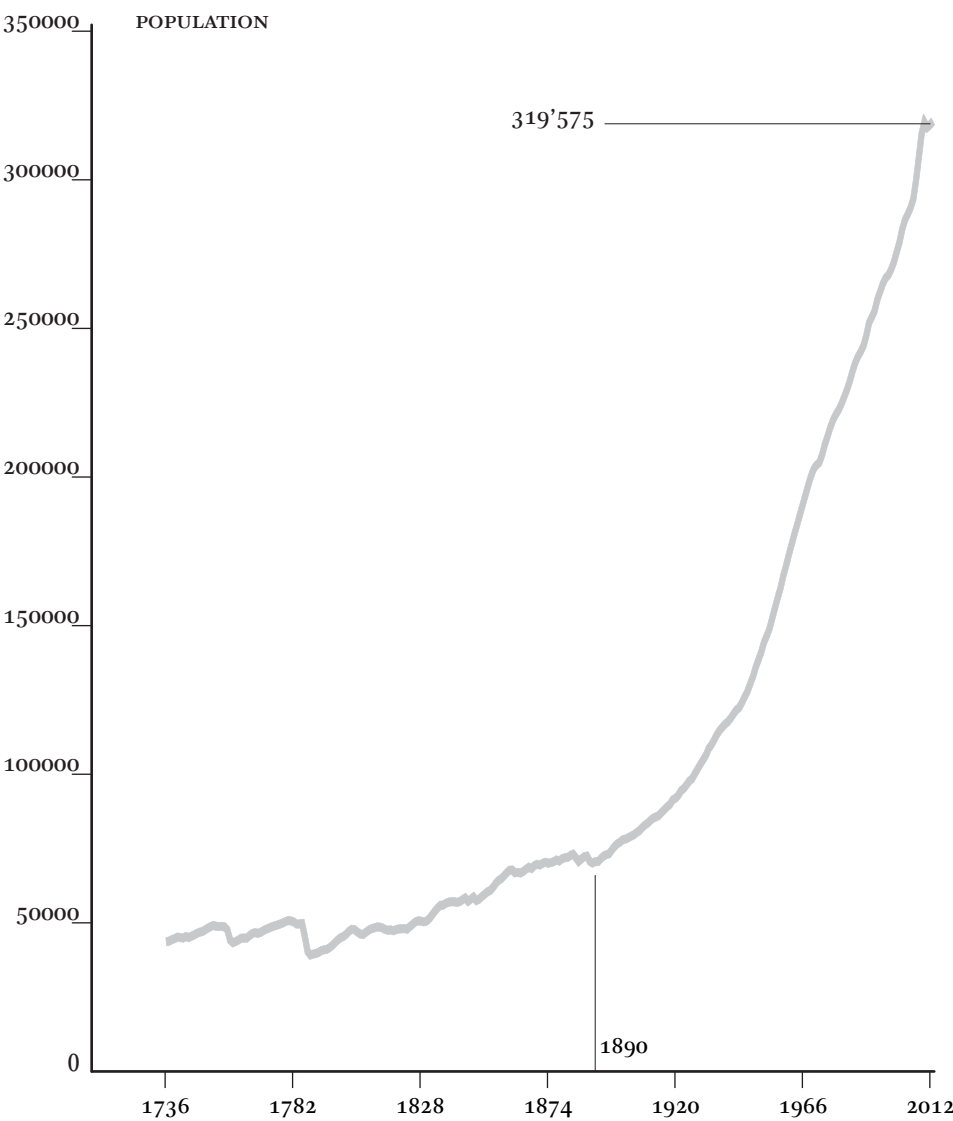
Historiquement, l’île a été colonisée au IXe siècle par des Vikings venant de Norvège, même s’il est probable qu’elle ait été habitée sporadiquement avant par des moines irlandais en quête de solitude.

Politiquement, elle est dès le XIIIe siècle assujettie à la Norvège, puis à la couronne danoise un siècle plus tard. Ce n’est qu’en 1944 que l’Islande retrouve son indépendance et sa souveraineté.

Cela explique en grande partie la proximité culturelle des Islandais avec les pays nordiques, autant que leur besoin d’affirmer leur capacité à se débrouiller seuls. Les liens institutionnels perdurent néanmoins actuellement au travers de différentes entités, et notamment le Conseil Nordique qui regroupe cinq états et trois territoires autonomes¹.

¹Danemark, Finlande, Islande, Norvège, Suède, Îles Féroé, Groenland et Åland

Graphe de l’évolution de la population islandaise



Répartition de la population

La population islandaise est pendant longtemps restée peu nombreuse du fait des conditions de vie difficiles. Ce n'est que durant le XXe siècle que le nombre de personnes vivant sur l'île a fini par considérablement augmenter, pour dépasser 320'000 habitants à la fin de l'année 2012.

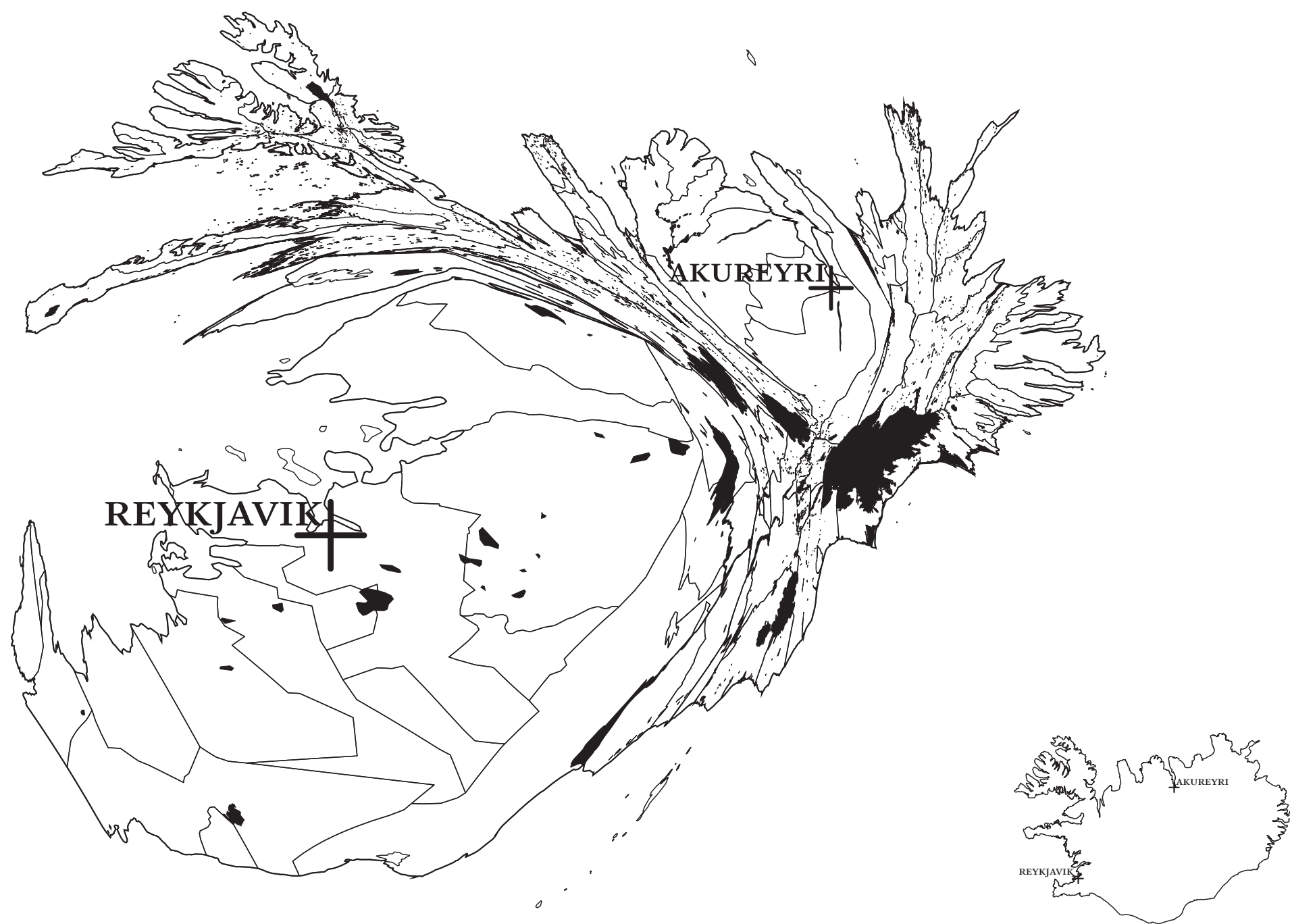
Malgré ce triplement de citoyens en moins d'un siècle, l'Islande reste un pays avec une très faible densité d'habitants, soit 3.1 personnes par km2. Cela explique en partie certains traits de caractère des Islandais. Ceux-ci ont par exemple un besoin d'espace inhabituel, ayant toujours vécu entourés d'étendues généreuses libres de construction. Cela a une influence notable sur l'étalement de chaque bassin « urbain » dans le sens où la distance au centre n'est pas le facteur pris le premier en compte.

CARTE DES ZONES HABITÉES



À l'intérieur de l'Islande, cette population n'est, comme entraperçu plus haut, absolument pas répartie homogènement. Elle se situe exclusivement le long des côtes. Cela s'explique principalement par l'importance historique de la pêche. De plus, la répartition sur les rives islandaises est très variable. Ainsi, presque deux tiers de la population vivent dans l'agglomération de Reykjavik (Statistics Iceland 2013), la rendant de facto le seul centre urbain du pays.

CARTOGRAMME DE LA DENSITÉ DE POPULATION



Bassin de transport

Comme mentionné plus haut, cette bande côtière habitée est divisée en plusieurs bassins urbains. Leurs limites ne sont pas strictement définies, et reposent principalement sur les distances parcourues jusqu’au lieu de travail ou l’école.

Compte tenu de la structure du réseau routier, il est commun pour les enfants d’Islande de devoir faire une heure de voiture pour aller à l’école. Au-delà d’une heure et demie, un système d’internat est mis en place. Celui-ci est d’ailleurs aussi utilisé en hiver quand le trajet devient trop dangereux.

Quant à la population active, elle est pareillement tributaire des conditions climatiques pour se rendre à son lieu de travail. L’utilisation généralisée de gros véhicules tout-terrain ne repousse que partiellement le problème. Les Islandais semblent simplement s’accommoder de cette condition et reconnaître lorsque la nature elle la plus forte.

CARTE DES BASSINS DE TRANSPORT

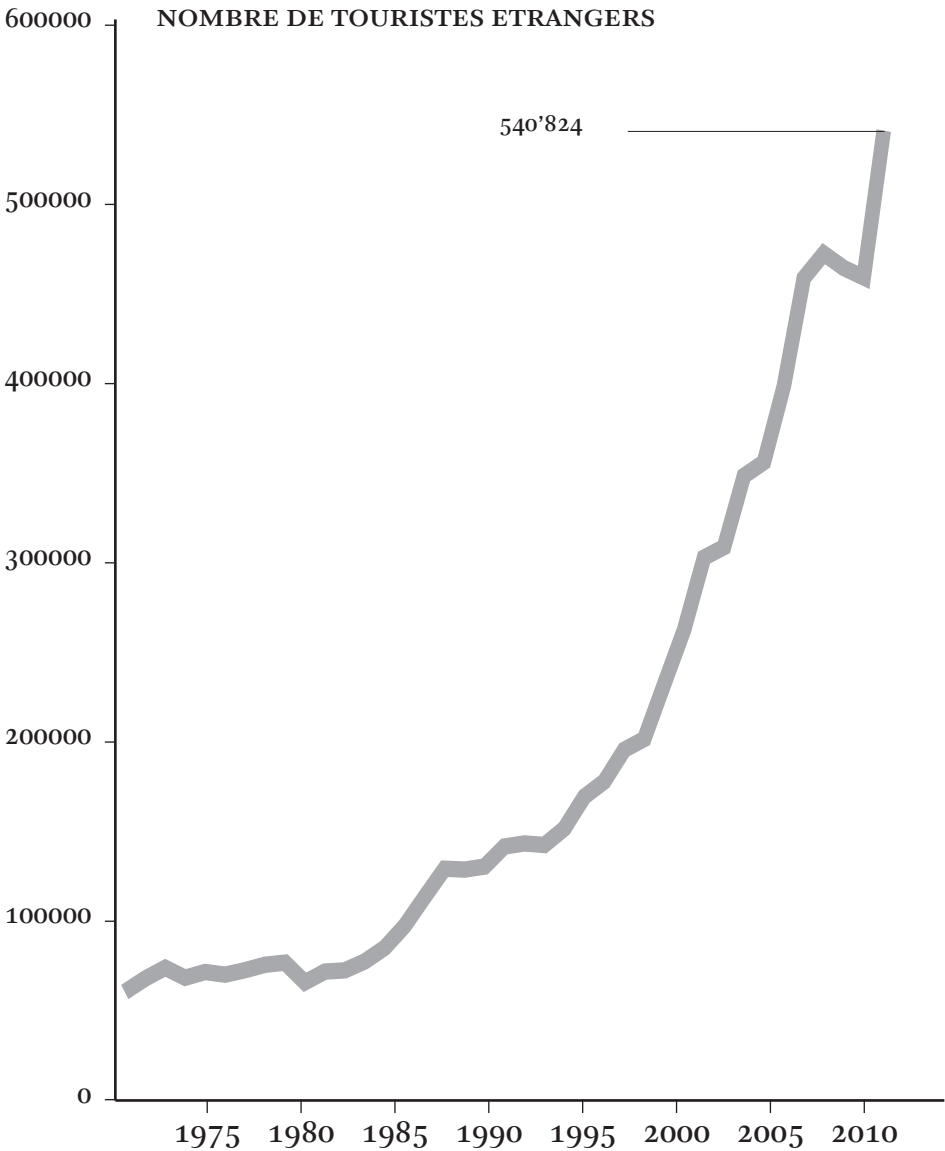


Touristes

Les touristes sont de plus en plus nombreux à venir en Islande. On peut situer aux années nonante le véritable décollage du tourisme islandais. C'est une industrie loin d'être négligeable qui a participé en 2012 pour 6% au PIB de l'île (Statistics Iceland 2013). Mais en dehors de la manne financière bienvenue que le tourisme peut amener, il est aussi une cause importante de soucis pour le pays. Au fur et à mesure de l'augmentation de fréquentation, la nature islandaise, pourtant principale attraction touristique, s'est vue dégradée au point de créer un débat national sur la manière de responsabiliser les touristes en Islande.

Un deuxième problème posé par les touristes en Islande est celui de leur sécurité du fait de leur ignorance des risques inhérents à ce territoire (Gudmundsson et al. 2008). Leur simple inexpérience les empêche souvent de voir les situations aléatoires où ils se mettent potentiellement. Celles-ci résultent des conditions climatiques changeantes, de la nature particulière du terrain, et aussi –cas qui nous intéresse– de la possibilité d'éruption. Face à ce dernier risque, les éléments problématiques sont la méconnaissance des procédures d'urgence par les visiteurs, ainsi que la nécessité d'organiser des sauvetages et donc d'en prévoir les moyens.

Graphe de l'évolution du nombre de touristes étrangers



Economie

L'économie islandaise était jusqu'à il y a peu, principalement axée sur la pêche, qui représente encore 40% des exportations de l'Islande. Malgré cette importance, la pêche n'est pas un très grand pourvoyeur d'emploi.

Équipement de pêche dans le port de Breiðdalsvík

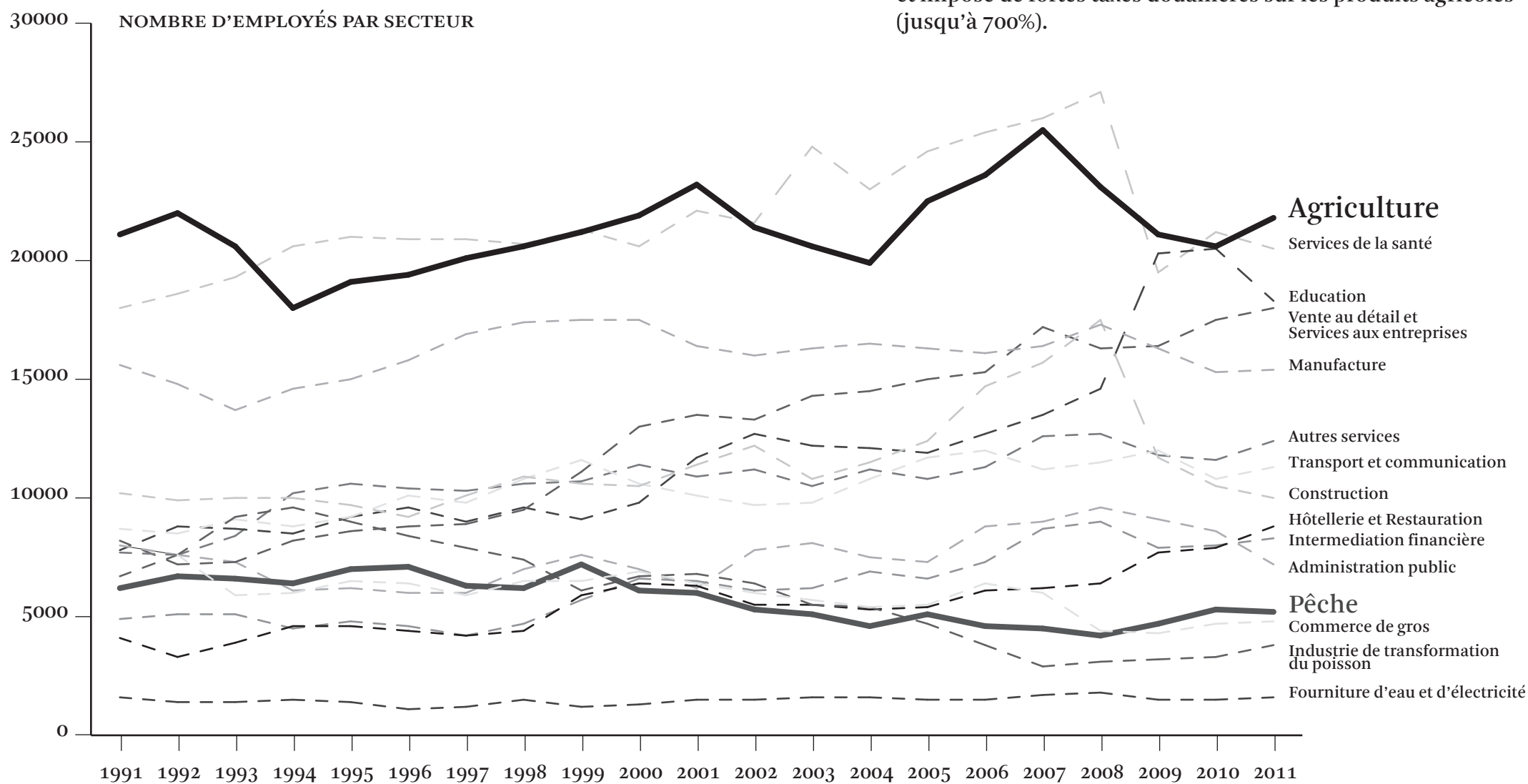


Caractéristiques générales

Emploi par secteur

Au contraire, l'agriculture n'est pas un secteur très lucratif en Islande, cela à cause du climat peu propice et des terres arables limitées. En effet, seulement 1% de la superficie totale du pays est cultivée et 20% sont utilisés en pâturages. Malgré ces conditions défavorables, l'agriculture est un des secteurs qui emploie le plus de personnes (Statistics Iceland 2013). C'est ici en partie grâce à un interventionnisme de l'état, qui subventionne largement le secteur et impose de fortes taxes douanières sur les produits agricoles (jusqu'à 700%).

Graphe de l'évolution du nombre de personnes employées par secteur



Population a risque

Il est intéressant de se rendre compte à quel point les métiers agricoles sont encore un pilier de la société islandaise, même si son économie est maintenant tournée vers les services. Presque tout le monde a encore dans sa famille élargie une ou des personnes travaillant dans le secteur de l'agriculture. La part la plus importante de l'agriculture consiste en l'élevage de moutons et d'agneaux, pour le lait, la viande et la laine. Au regard des risques liés aux éruptions, les agriculteurs et les éleveurs représentent une population particulièrement exposée.

D'une part, ce sont eux qui statistiquement ont le plus de difficultés à être informés rapidement du début d'une éruption du fait de leur éloignement de tout centre « urbain » ou agglomération. L'Islande a encore une couverture radio et GSM relativement faible et nombreux sont les endroits où aucun signal ne peut être reçu.

D'autre part, cette frange de la société sera grandement affectée dans son activité économique à la suite d'une éruption. En effet, suivant l'épaisseur de cendres se déposant, la végétation peut être condamnée pour plusieurs années. Et même une fine pellicule est problématique du fait des molécules toxiques attachées aux cendres qui voue tout animal pâture à l'empoisonnement.

Ferme dans les environs de Skógar



Energie

Il existe deux sources principales d'énergie en Islande, la géothermie et les ouvrages hydroélectriques, qui produisent plus de huitante pour cent des besoins totaux (Björnsson, Gudmundsdottir, and Ketilsson 2010). Le reste est couvert par les hydrocarbures, principalement pour les secteurs de la pêche et des transports.

C'est grâce à la nature volcanique de l'île qu'environ 60% des besoins totaux sont couverts par la géothermie. La profusion d'énergie thermique mène à son utilisation particulière en Islande. Cela permet par exemple de chauffer des serres, autrement peu efficaces, ou de déglacer les routes et les trottoirs dans les agglomérations.

Cette abondance d'énergie facile à produire et bon marché est d'ailleurs en train de transformer l'Islande en producteur mondial majeur d'aluminium, l'électrolyse de l'alumine consommant beaucoup d'électricité.

Le revers de cette richesse énergétique, ou en tout cas de la part géothermique qui est la principale, est qu'elle gît par nature dans les zones volcaniques. De ce fait, il est probable qu'une éruption de grande ampleur perturbe le fonctionnement de certaines centrales (Gudmundsson et al. 2008). C'est un facteur qui contribuerait grandement à aggraver la catastrophe.

CARTE DES CENTRALES ÉLECTRIQUES



Violence du paysage

L'Islande, par sa constitution volcanique et sa situation à la limite du cercle arctique, contient une forme de violence latente. Celle-ci est constamment palpable, qu'elle soit visuelle, ou physique à travers le climat.

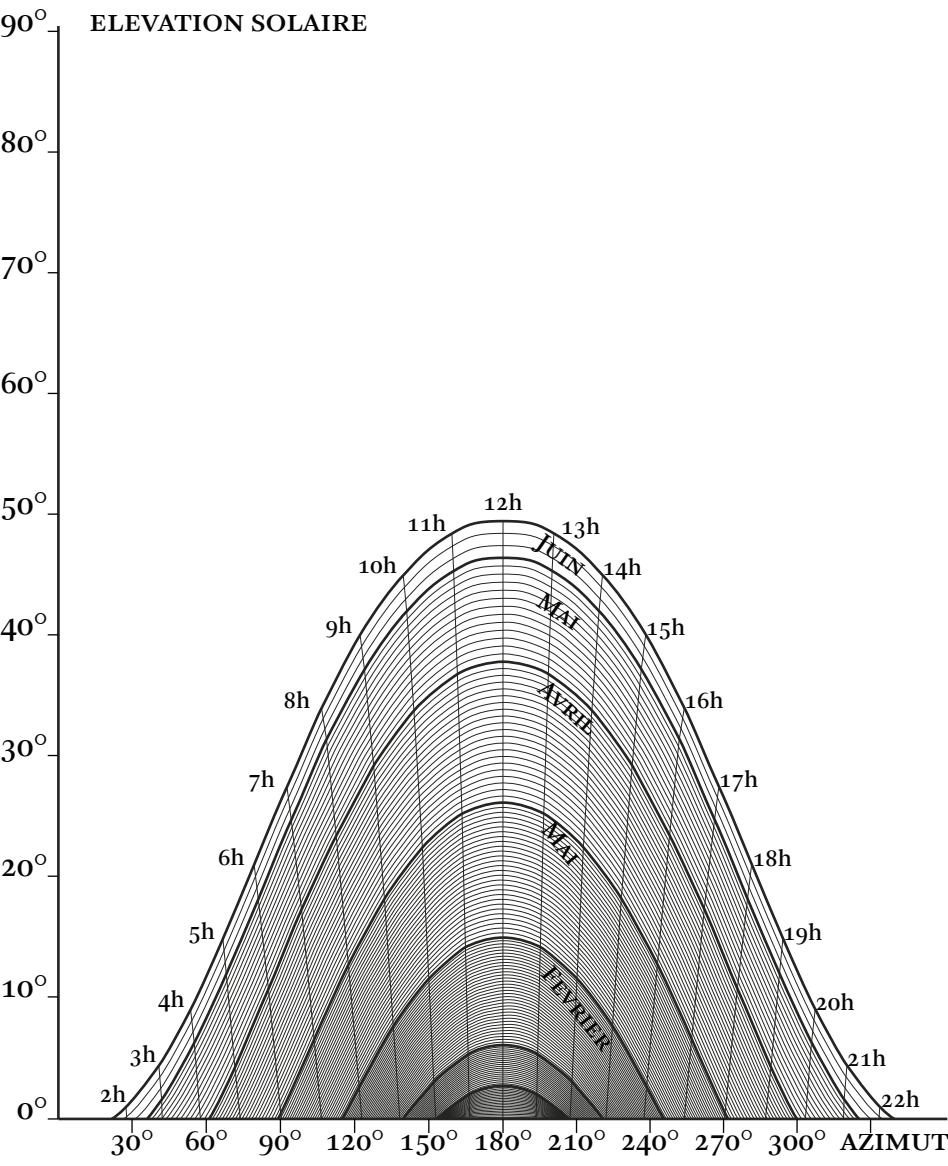
Les Islandais affectent de ne pas la remarquer, mais cela ne les empêche certainement pas de la ressentir. Cette violence du paysage est un trait important de l'île, mais plus personne ne s'en embarrasse trop, elle fait partie du caractère national.



L’Islande étant aux confins de cercle polaire, la quantité de lumière varie beaucoup d’une saison à l’autre. Le mois de décembre ne voit par exemple que 12 heures de soleil en tout. À l’opposé, le soleil ne se couche pratiquement pas au mois de juin, et même pendant les quelques heures où il est en dessous de l’horizon, il reste encore assez de clarté pour pouvoir lire.

Si le soleil reste plus longtemps en été, il décrit par contre une course bien plus basse dans le ciel que ce dont nous avons l’habitude en Europe centrale. La position géographique de l’Islande implique donc une variation radicale de la quantité de lumière reçue durant de l’année.

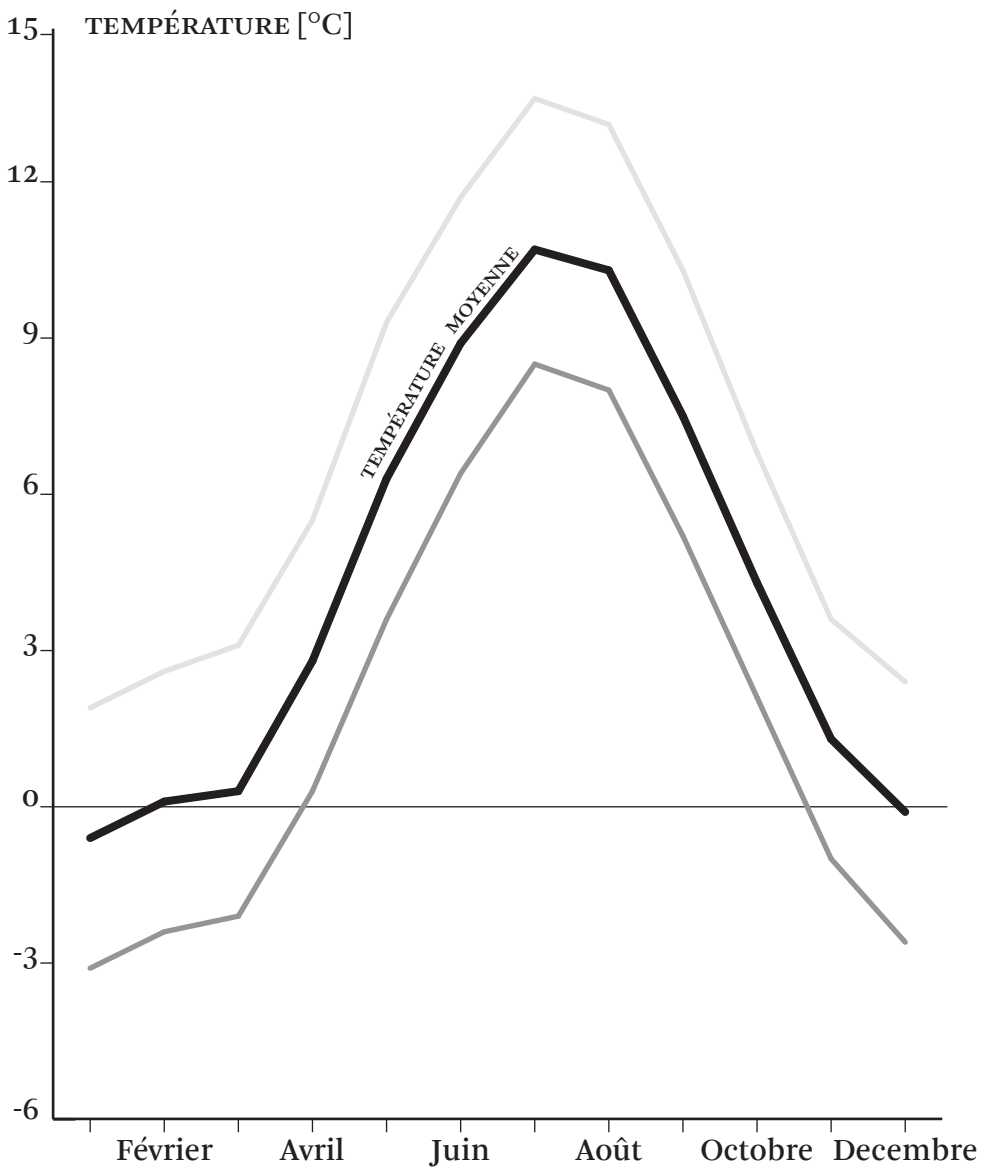
Diagramme d'ensoleillement à Reykjavik



Contrairement à une idée répandue, l'Islande n'est pas un pays où il fait particulièrement froid, malgré sa proximité à l'Arctique. C'est principalement dû au Gulf Stream qui réchauffe en permanence l'île. Du fait de l'éloignement des côtes, il fait sensiblement plus froid dans les Hautes Terres, au centre.

S'il ne fait pas singulièrement chaud en été, les températures hivernales n'ont rien d'extrême non plus (IMO 2013). Il arrive quand même que la température ressentie soit basse, mais c'est principalement dû au vent.

Graphique de la température moyenne à Reykjavík
Source des données: IMO

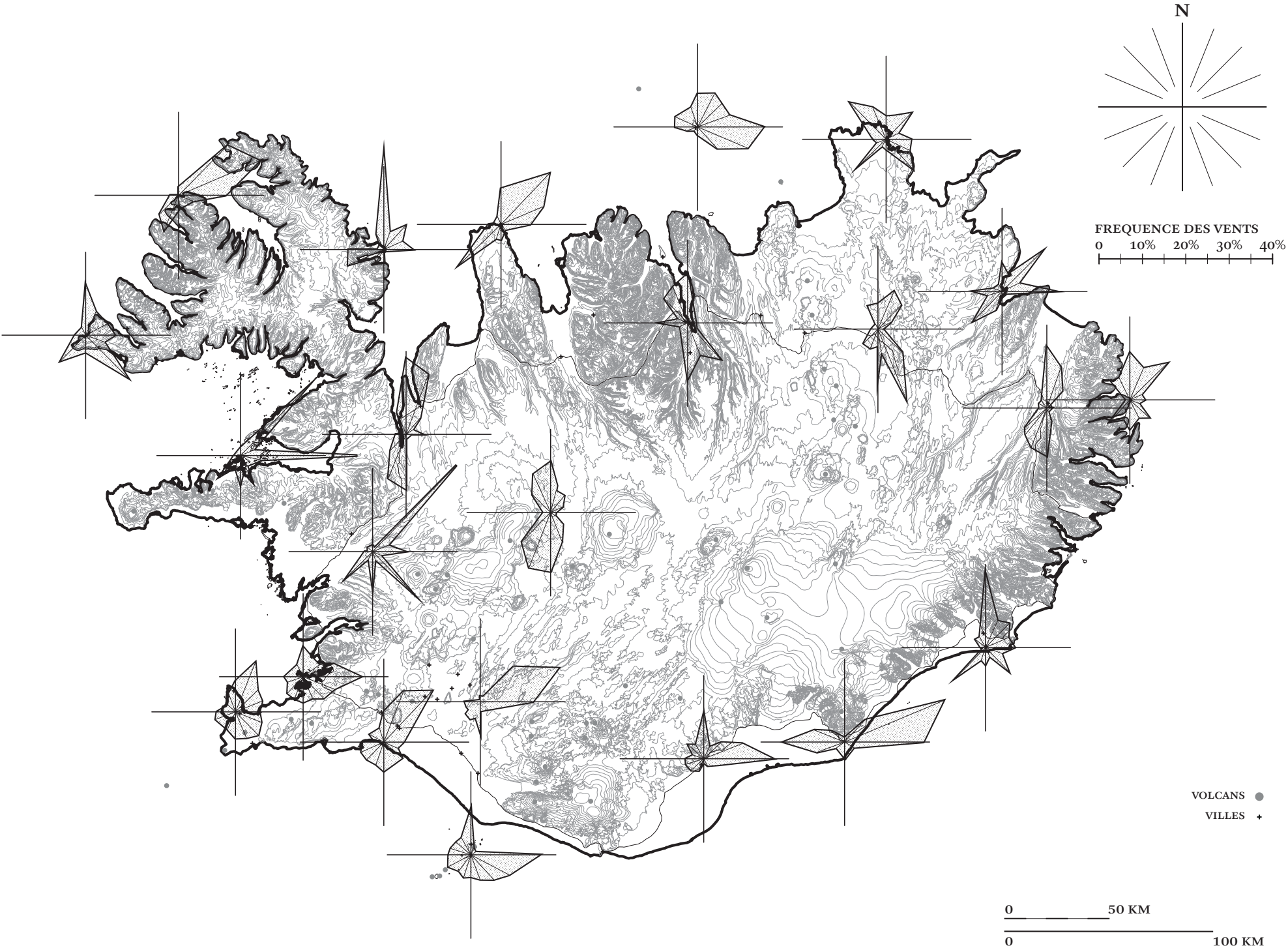


Vent

Le vent en Islande est présent presque en permanence. La direction dominante varie en fonction des saisons, principalement entre le nord-est et le sud-est (Einarsson 1984). Les vents violents et les tempêtes sont courants sur l'île. Si la vitesse moyenne est de quatre à sept mètres par seconde, des rafales à 60 ms⁻¹ sont parfois enregistrées.

C'est un facteur à ne pas sous-estimer, même s'il peut sembler commun. Lors des fortes tempêtes, il n'est simplement pas possible de sortir.

CARTE DE LA FRÉQUENCE DES VENTS



QUELS RISQUES

Risques pris en compte pour ce travail
Téphra
Jökulhlaup
Risques non pris en compte dans ce travail
Échelle d'éruption
Carte du risque volcanique
Conséquences potentielles
Humains
Bâtiments
Mobilité

Le panache de cendres ne cessait d'enfler, bientôt les bombes volcaniques allaient commencer à tomber. On voyait la lueur de la lave lointaine se refléter sur les particules en suspension dans l'air. Bien sûr, ils allaient essayer de fuir. Mais leur voiture allait tomber en panne trop vite, trop tôt pour les mettre hors de danger, rendant leur dernier soupir étouffées par la poussière. Puis les routes seraient coupées.

Quels risques

Risques pris en compte pour ce travail

Les risques associés aux éruptions sont nombreux et variés. Pour ce travail et en prévision du projet de diplôme subséquent, seuls deux risques principaux sont considérés. Il s'agit des cendres et autres projections créées lors d'une éruption explosive et des jökulhlaups, inondations violentes et soudaines liées à une éruption.

Faille près du lac Mývatn



Quels risques

Téphra

Éruption du Grimsvötn en 2011



Les projections atmosphériques lors d'une éruption volcanique sont constituées de roche magmatique, de lave refroidie pendant son parcours aérien et de matériau arraché aux conduites éruptives (Munro and Parkin 1999). Elles peuvent avoir différentes tailles, de cendres, particules de moins de deux millimètres, aux bombes volcaniques pouvant faire plus d'un mètre de diamètre.

Si les objets les plus gros ont un potentiel destructeur direct élevé, ils ne menacent de fait que les abords du volcan, étant rapidement ramenés à terre par la gravité. Les cendres au contraire, peuvent rester en suspension dans l'air longtemps, jusqu'à plusieurs années pour les plus fines. Différents facteurs autres que leur poids influencent la dispersion des cendres.

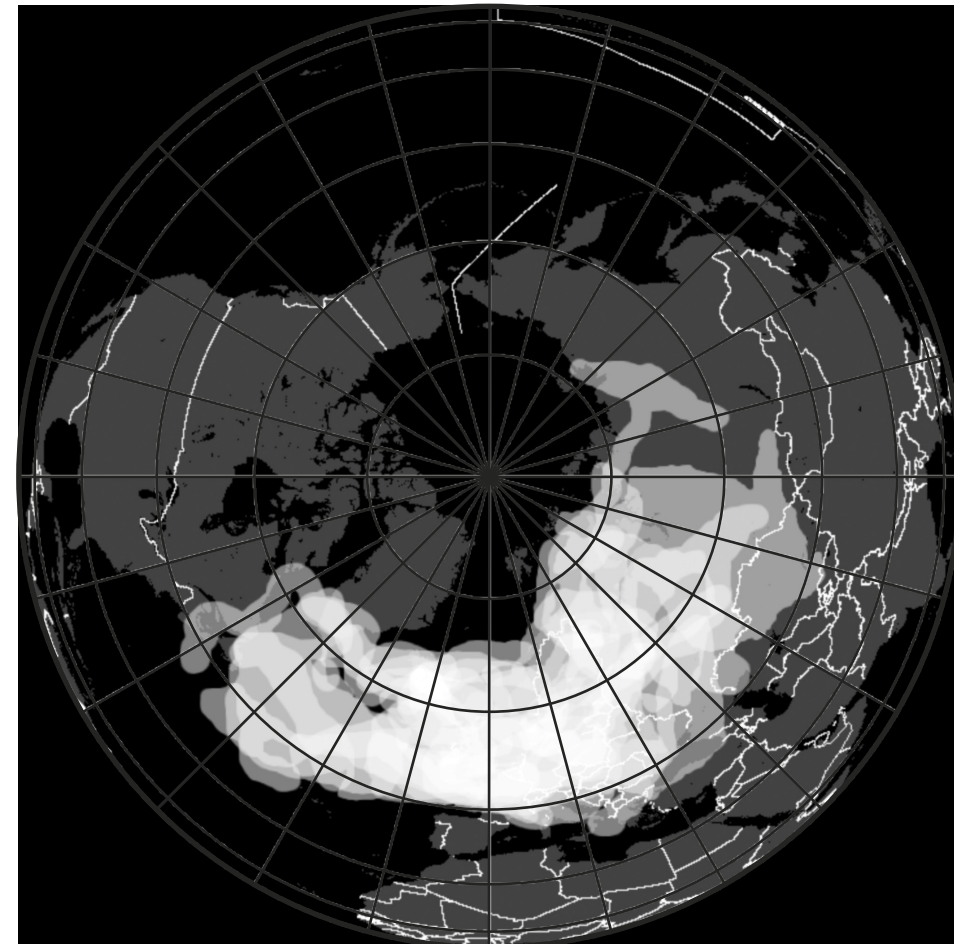
Premièrement, l'intensité de l'éruption agit sur la hauteur du panache (Gudmundsson et al. 2008). Plus les cendres sont éjectées violemment et sur une période de temps étendue, plus leur retombée pourra être lointaine. Deuxièmement, la météo, et notamment la force et la direction des vents, a une influence majeure sur la diffusion des particules volcaniques. Cela peut limiter grandement l'impact final.

Pour reprendre l'exemple de l'éruption de l'Eyjafjallajökull, son volume de matériel éjecté de 0.27km³ est considéré comme très petit (Karlsson et al. 2012). De plus, pendant les 39 jours qu'a duré l'éruption, les vents dominants ont fluctué en direction du sud et du sud-est. Cela a eu comme conséquence de restreindre les retombées terrestres au profit des marines. Il est estimé que la moitié des cendres ont fini dans l'océan atlantique. Cela a aussi poussé une petite fraction des particules les plus fines jusqu'en Europe, perturbant fortement le trafic aérien.

Il n'en reste pas moins que les retombées de cendres peuvent concerner de grandes aires, affectant potentiellement un grand nombre de personnes.

Carte du nuage de cendres de l'Eyjafjallajökull en 2010

Source des données: Met Office



Jökulhlaup

Les jökulhlaups sont, comme dit précédemment, des débâcles hydriques brusques. Ils sont liés à une éruption. L'échauffement brusque d'un glacier le fait fondre. Le lac glaciaire ainsi créé se déverse brusquement lorsque les roches ou la glace restante cèdent sous la pression. C'est un phénomène typique de l'Islande, même si l'on peut l'observer dans quelques autres régions du monde, car on y retrouve communément l'association d'un volcan et d'un glacier (Björnsson 2003).

Un facteur augmentant encore la dangerosité des jökulhlaups est que ces quantités conséquentes d'eau se mélangent souvent aux cendres déjà déposées et forment ensemble un fluide dense et encore plus destructeur. En outre, des blocs de glace de plusieurs tonnes sont souvent emportés avec la crue.

Image aérienne d'un jökulhlaup déclenché par l'Eyjafjallajökull en 2010

Crédit photographique : Atli Porvaldsson



Risques non pris en compte

D'autres risques liés aux éruptions volcaniques existent bien sûr, mais ne sont volontairement pas pris en compte pour ce travail. Citons-en néanmoins quelques-uns.

Pour commencer, les épanchements de lave. Ils surviennent lors d'éruptions de type effusif. Ils sont relativement communs en Islande, la première phase de l'éruption de l'Eyjafjallajökull, moins médiatisée en Europe continentale, était notamment de ce type. Les coulées de lave sont souvent spectaculaires, mais du fait de leur avancée lente elles sont rarement un danger. C'est néanmoins un souci grandissant pour la protection civile islandaise en raison de l'étalement urbain dans certaines régions (Gudmundsson et al. 2008).

Un autre phénomène impressionnant est celui des nuées ardentes. Il s'agit d'un mélange de gaz volcaniques et de cendres portées à haute température qui dévalent la pente du volcan. Si le phénomène est extrêmement destructeur, il semble très peu fréquent en Islande, même s'il ne peut pas être exclu.

Un danger proche du volcan lorsqu'il y a un panache de fumée est la foudre. Celle-ci est due au frottement entre les cendres fines et les différents gaz composants le nuage. L'électricité ainsi générée perturbe les télécommunications et constitue une menace sérieuse mais localisée. Une zone de 40 km est généralement admise comme à risque (Protection Civile Islandaise 2013).

Lave sur le flanc de l'Eyjafjallajökull en 2010

Crédit photographique : Kristján Freyr Prastarson



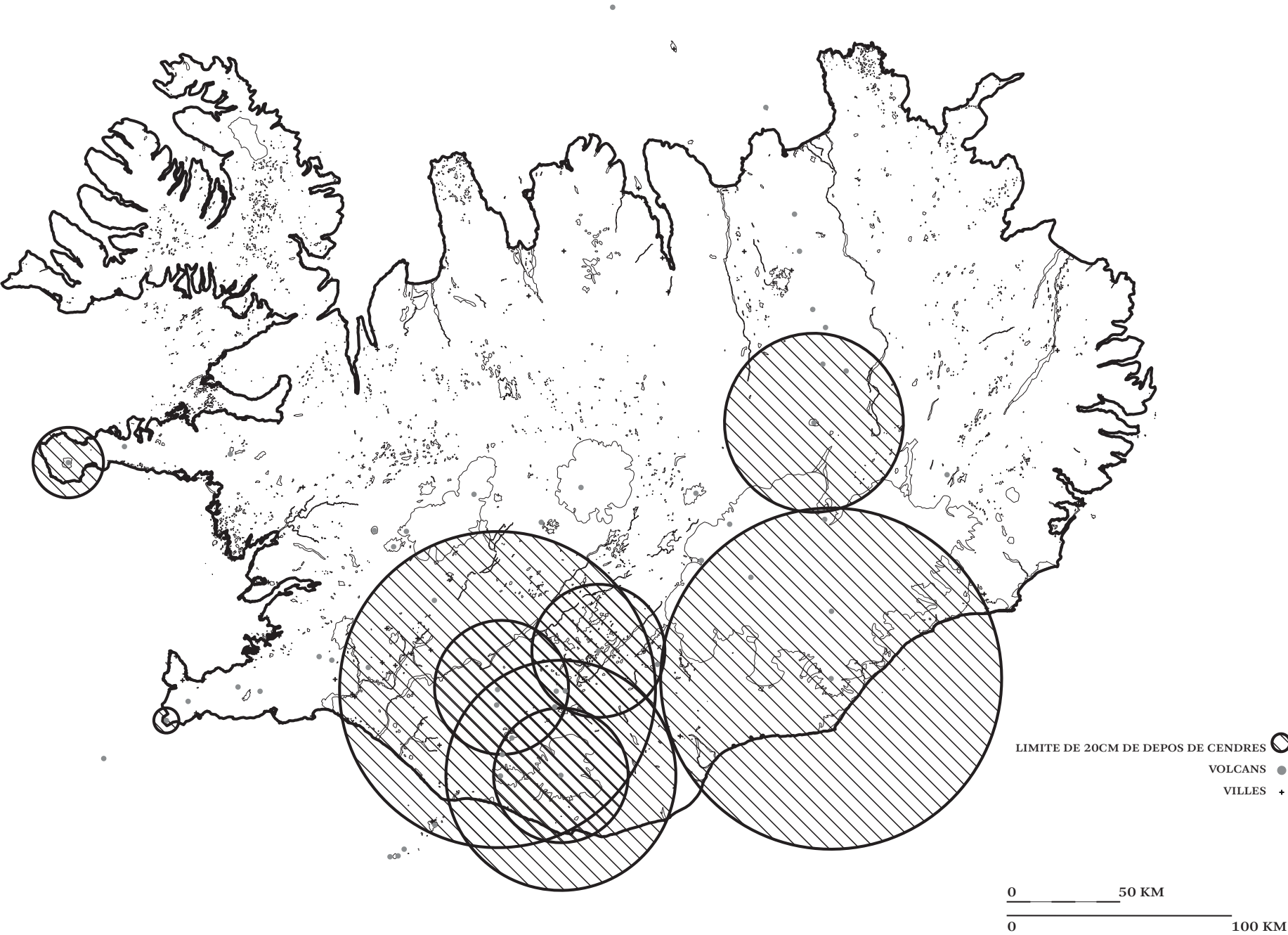
Quels risques

Échelle d'éruption

Pour se donner une idée de la taille que pourrait avoir une éruption de grande ampleur en Islande, il est intéressant de regarder l'histoire des éruptions depuis la colonisation de l'île. Depuis l'an 870 et jusqu'à nos jours, il y a eu environ 150 éruptions de type explosif (Gudmundsson et al. 2008). La plus violente (Öraefajökull en 1362) a recouvert toute l'Islande de cendres, en produisant environ 10km³ de téphra. Une couche de 20cm recouvrait la terre à huitante kilomètres du volcan.

Pour obtenir une représentation spatiale du risque aujourd'hui, on peut supposer que chaque volcan actif peut potentiellement produire cette même éruption. Il est intéressant de voir que les zones dangereuses ne coïncident pas avec les zones inhabitées.

CARTE DES ÉRUPTIONS HISTORIQUES



Carte du risque volcanique



VILLES ♦

0 50 KM
0 100 KM

Quels risques

Conséquences potentielles



Conséquences humaines

Les humains sont directement concernés par les deux risques considérés ici. Cependant, si les jökulhlaups ont un effet immédiat, et qu'il est simplement peu probable d'en réchapper si l'on se trouve sur leur passage, les cendres ont, elles, un mode d'action plus insidieux sur les organismes. C'est donc sur celles-là que ce sous-chapitre va se concentrer.

Les cendres posent un problème aux besoins fondamentaux de l'être humain, à savoir respirer, manger et boire. En effet, les particules en suspension dans l'air, particulièrement les plus fines, sont facilement inhalées. La gravité dépend du temps d'exposition et de la composition des cendres. Le plus communément, une silicose, maladie mortelle, peut être contractée si celles-ci contiennent de la silice (Blong 1984). Et même sans être respirées, les cendres provoquent l'irritation des yeux et de la peau, à cause de leur abrasivité et de leur acidité.

Un conducteur pendant l'éruption de l'Eyjafjallajökull

Crédit photographique : Brynjar Gauti



Les cendres sont en outre un vecteur de composés toxiques, principalement la fluorine (Gregory and Neall 1996). Après des pluies, ces composés peuvent atteindre dans les cours d'eau des concentrations dangereuses pour l'homme et l'animal.

Ils créent de fait un risque pour toute la chaîne alimentaire. Un dépôt de seulement cinq millimètres de cendres pose déjà de sérieux problèmes pour les animaux (Neild et al. 1998). La végétation est en outre fortement affectée et peut mettre plusieurs années à se remettre d'une éruption selon la quantité de cendres déposées (Folsom, 1986). Jusqu'au XXe siècle, les famines liées aux éruptions volcaniques étaient courantes en Islande.

Une dernière influence des cendres sur la végétation, les animaux et les humains est la diminution sensible de lumière due aux particules en suspension dans l'atmosphère. L'éruption du Laki en 1783, rapportée en Europe centrale comme une année sans été, a ainsi obscurci toute l'hémisphère nord à l'époque (Thordarson et al. 1996).

Impact de L'épaisseur de cendres sur les plantes
Source des données : Folsom, 1986

Epaisseur de cendres	Impact sur les plantes
moins de 5mm	-les plantes ne sont pas enterrées -la canopée se remet en quelques semaines
entre 5 et 25mm	-les plantes herbueses sont endommagées mais pas tuées -la couche de cendres est encore sur le sol une année après -la canopée récupère l'année suivante
entre 25 et 150mm	-les plantes herbueses sont enterrées -les mousses ne reviennent qu'après recolonisation -une large proportion de plantes ne s'en remettent pas -la couche de cendre est incorporée en quatre à cinq ans. -la canopée met plusieurs années à récupérer
plus de 150mm	-seuls les arbres ne sont pas enterrés -le sol est stérilisé par le manque d'oxigène -les plantes peuvent mettre plusieurs centaines d'années à reconquerir les sol

Quels risques

Bâtiments

Les bâtiments sont sensibles aux deux risques. Structurellement, ils peuvent être affectés par l'accumulation de cendres (Johnston 1997). Il existe un risque d'effondrement à partir d'une épaisseur de cendres de 100mm. Cependant, l'inclinaison du toit et l'humidité ont une large influence.

Les cendres s'infiltrent facilement à l'intérieur et peuvent causer des dégâts aux installations du fait de leur acidité. Enfin, les cendres sont conductrices ce qui peut endommager tout appareil ou système électrique en y créant un court-circuit.

Les jökulhlaups sont aussi très destructeurs pour les bâtiments. Ils emportent tout sur leur passage. Le fait qu'ils charrient beaucoup de matériel augmente le niveau du sol. Ainsi, des bâtiments en dehors du bassin de crue à une époque peuvent se retrouver à risque lors de la prochaine éruption.

Nettoyage de la cendre sur un toit pendant l'éruption de l'Eyjafjallajökull
Crédit photographique: HALLDOR KOLBEINS



Mobilité

La mobilité générale est grandement affectée par les éruptions. Premièrement, les nuages de cendre réduisent fortement la visibilité, d'autant plus que le vent remobilise les particules au sol. Le trafic routier en devient hasardeux. Lorsque les cendres déposées sont mouillées, le sol devient extrêmement glissant (Johnston 1997).

Plus problématique encore, la cendre endommage fortement tout véhicule en mouvement. L'abrasivité des particules ruine rapidement la mécanique (2 à 3 heures), le système électrique peut être endommagé à tout moment et les filtres sont vite bouchés. Il est en outre difficile de déblayer les cendres, l'équipement standard pour dégager les routes ne convenant pas.

Le transport aérien est tout aussi affecté. En plus des défaillances déjà énoncées pour les véhicules terrestres, les turbines, du fait de leur température élevée, fondent partiellement les cendres (Labadie 1994) qui encrassent alors le moteur, le menant éventuellement à la ruine.

Finalement, les jökulhlaups s'ils traversent une route, ont toutes les chances de l'emporter sur leur passage. Un tel événement limite d'autant la mobilité que le réseau routier islandais n'offre que très peu d'alternatives au cas où la route n°1 viendrait par exemple à être coupée.

Jökulhlaup de l'Eyjafjallajökull en 2010

Source : stjornufrædi.is



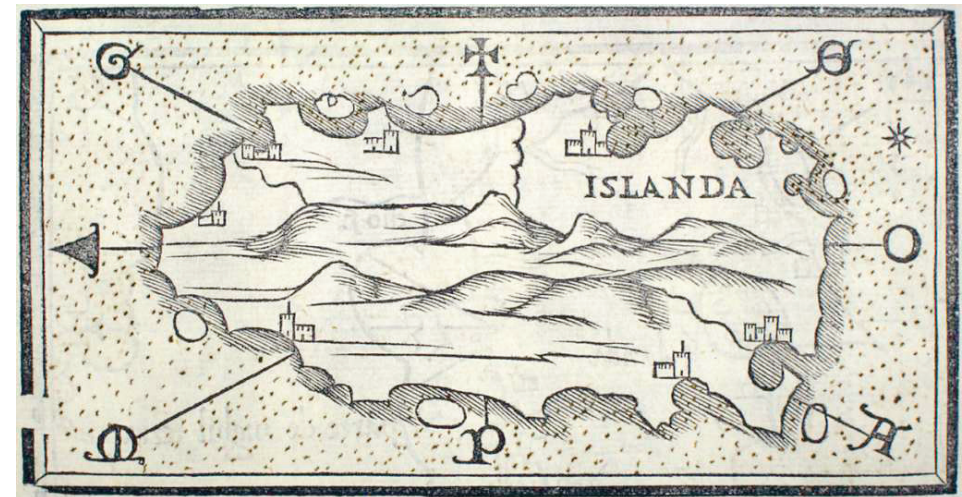
À LA RECHERCHE D'UNE RÉPONSE PROACTIVE

Évacuation standard
Bunker personnel ou communautaire
Multiplication des cabanes de survie
Capsules d'éjection en mer

Compter sur d'hypothétiques secours ne servait à rien, le nuage de cendre bloquait les airs et la terre, et de toute façon plus aucune communication ne passait.

À la recherche d'une réponse proactive

Diverses possibilités sont envisageables pour limiter les risques associés à la survenue d'une éruption volcanique, sachant que celle-ci n'est pas évitable en soi. Une unique solution ne répondra jamais entièrement à toutes les contraintes. Ce chapitre propose donc de regarder un éventail de principes d'intervention. Ils comportent chacun une échelle d'action différente. Il existe bien évidemment déjà nombre de mesures mises en place. Le système de prévision sismique et la planification territoriale en sont les fers de lance.



Évacuation standard

Commençons par regarder ce qu'il se fait déjà à l'heure actuelle en Islande. La mesure la plus appliquée est l'évacuation pure et simple des lieux les plus à risques au moment où une alerte est donnée. Cette mesure n'est que très partiellement satisfaisante, et la protection civile islandaise le reconnaît (Karlsdóttir et al. 2012).

C'est une solution qui ne répond pas vraiment à un risque mais à la catastrophe elle-même, ce qui en soi est déjà problématique. Bien sûr, elle fait partie des plans de gestion de l'aléa volcanique, et est régulièrement exercée dans les communes où les comités locaux les ont mis en place. Mais elle n'est commandée que lorsque l'éruption devient certaine, soit de 12 heures¹ à 10 minutes avant, mais généralement de l'ordre de l'heure. Le début de l'éruption de l'Eyjafjallajökull n'a pour sa part pas été détecté². Ce cas est toutefois à relativiser, car c'est le seul à avoir échappé au système depuis sa mise en place, et notamment du fait de sa faiblesse. Il est improbable qu'une éruption majeure ne soit pas identifiée.

L'évacuation porte donc en elle la faiblesse inhérente d'être une réponse reposant sur l'instant présent de la catastrophe.

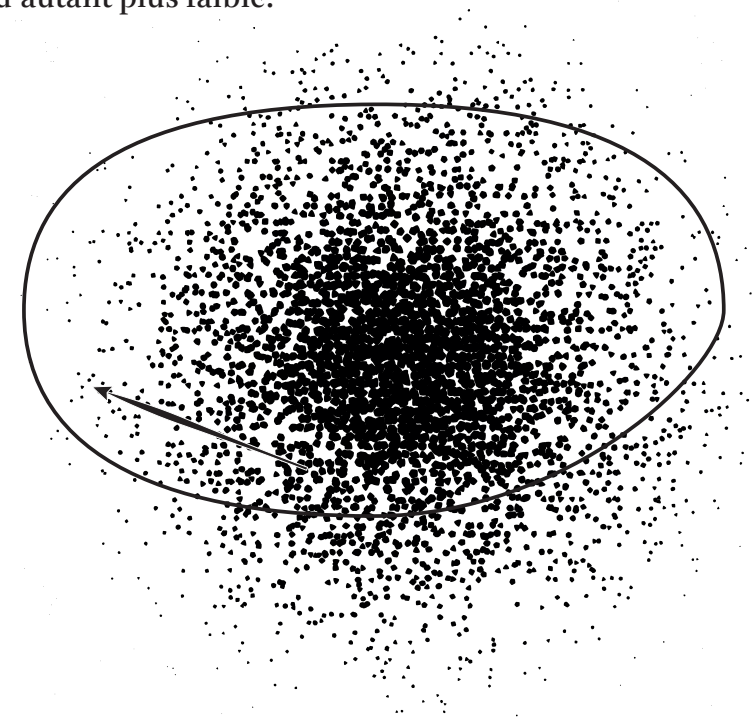
D'autres limitations propres à l'Islande existent en outre. L'ordre d'évacuation est efficace s'il est reçu lorsqu'il est émis. Or, la réception d'une telle injonction est forcément très aléatoire du fait de la faible couverture du territoire par les différents réseaux de télécommunication et d'information. Et c'est bien évidemment

¹cas idéal, repris par les pouvoirs locaux quand ils sont interrogés, même si ces cas ne sont pas généralisables à tout le monde.

²ce sont des paysans qui le 20 mars ont signalé un « feu au sommet de la montagne »

les personnes les plus éloignées de tout centre urbain qui sont les plus vulnérables. Comme vu plus haut, une part non négligeable de la population est employée dans le secteur agricole et se trouve par là-même souvent dans une zone qui n'est pas couverte, et une part non moins négligeable de la population habite simplement loin d'un centre par choix. Cet éloignement limite aussi la faisabilité d'une évacuation.

Un dernier facteur diminue encore parfois la pertinence d'une évacuation, à savoir la fragilité du réseau routier islandais. Du fait de l'absence de redondance, une route coupée n'est souvent pas contournable. Et la probabilité d'une route ou d'un pont arraché est forte à cause des jökuhlaups. La fenêtre temporelle d'évacuation est donc d'autant plus faible.



Bunker personnel ou communautaire

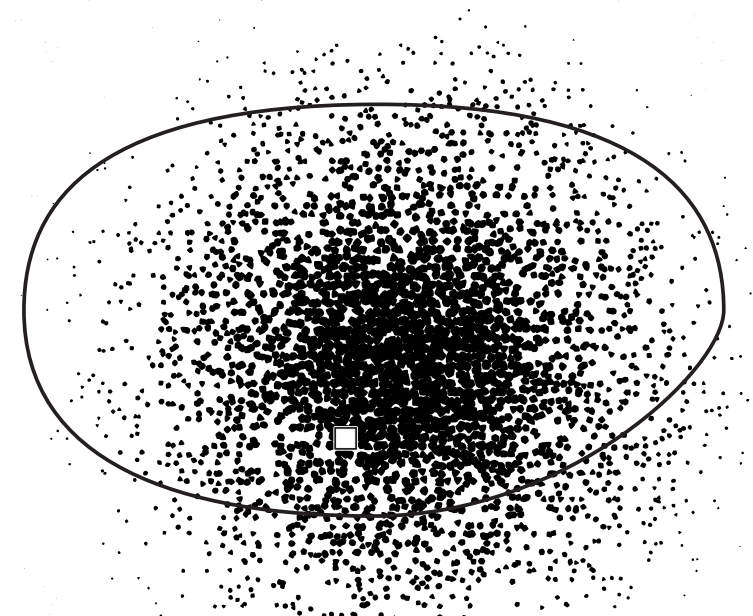
La solution à l'extrême opposé de la fuite est de rester sur place, terré dans un bunker. Si cette solution présente a priori peu de finesse et un intérêt architectural limité, il faut quand même la considérer ne serait-ce que pour pouvoir lui opposer une réponse plus adéquate.

Premièrement, le problème de l'annonce de l'éruption reste dans une large mesure inchangé. Par contre, la gravité de ne pas avoir été prévenu à temps est limitée à une plus petite fraction de la population. En effet, même sans avoir été prévenus et l'éruption ayant déjà commencé, les gens peuvent avoir seuls la présence d'esprit de se réfugier dans leur bunker. Celui-ci, dans le sens de l'autonomie, peut étonnamment convenir à la mentalité islandaise.

L'indépendance manifeste des Islandais, inculquée par les siècles de subsistance laborieuse face au climat, est encore une valeur ancrée dans les mœurs. Du reste, elle est entretenue par le fait qu'il est encore commun aujourd'hui qu'une route soit fermée par une tempête pendant quelques jours, semaines, voire une saison, et force le caractère autarcique de certains. Mais la boîte en béton n'est pas très pertinente en l'espèce.

On connaît au moins un exemple où la place de bunker pour tous a été établie, la Suisse. C'est le seul pays à avoir achevé une couverture totale de la population¹. Mais sans rentrer dans le débat de la pertinence actuelle du modèle helvétique, on peut néanmoins relever des différences contextuelles majeures avec la situation islandaise. À commencer par la taille respective des populations, huit millions contre un peu plus de 320'000 personnes. Et par extension, les moyens infrastructurels qui en découlent. L'Islande est encore en train de construire son réseau routier et se bat pour l'entretenir.

L'échelle des moyens qui seraient mis en œuvre pour diminuer le risque en construisant des bunkers semble ainsi disproportionnée. Et non seulement cette mesure semble excessive, mais elle ne correspond pas, hormis dans le sens de l'augmentation de l'indépendance, aux mœurs locales. Les Islandais paraissent bien moins attachés à leur maison que les continentaux. Il n'est pas rare en Islande de voir des bâtiments abandonnés, et même si le phénomène est en partie dû à une forme d'exode vers les (la) villes, il est aussi possible de voir des gens construire une maison au fond d'un fjord pour un moment de leur vie, puis partir lorsqu'ils en ressentent le besoin, abandonnant ou brûlant le bâtiment². Ainsi, la construction de bunker ne semble pas adéquate à cette manière d'habiter au gré de déplacements.



¹Contrairement à une définition répandue, les abris de protection civile suisse ne sont pas seulement prévus pour résister à une explosion atomique (qui est juste le critère de dimensionnement le plus impressionnant et fut à une époque un argument publicitaire). Il est non seulement prévu qu'il y ait un nombre de places suffisant mais aussi que le temps d'accès soit aussi court que nécessaire pour que l'abri soit efficace. Cela prend tout son sens pour les zones situées en aval d'un barrage hydroélectrique (car dans leur frénésie zélée, les législateurs ont naturellement pensé au cas de la rupture des retenues d'eau).

²Ce n'est bien sûr pas systématique non plus et les nouvelles lois sur l'environnement vont probablement changer une peu la donne.

Multiplication des cabanes de survie

Il existe en Islande un réseau de cabanes de survie réparties le long des routes. Il a été développé par le département de Recherche et Secours (ICE-SAR) depuis les années 1940.

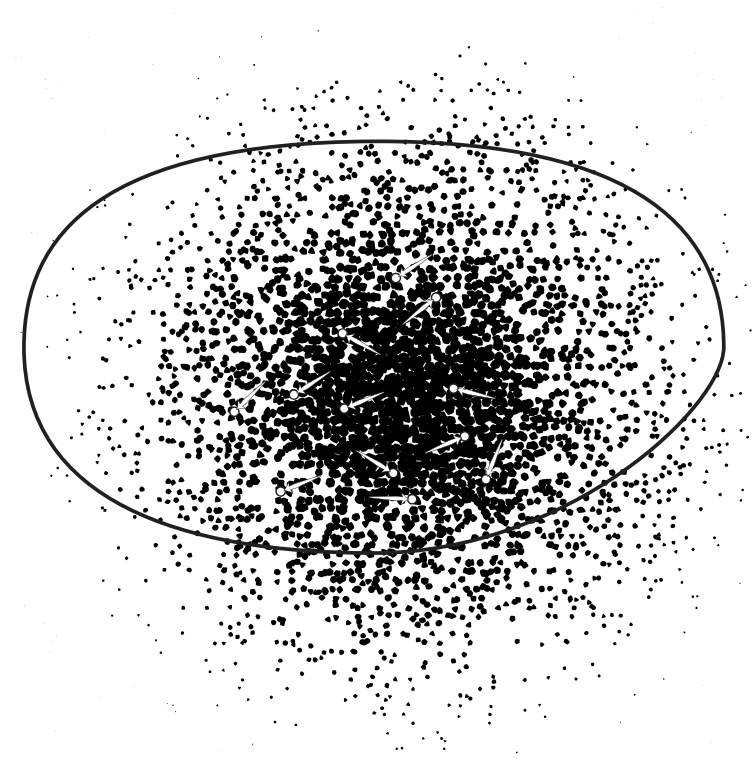
Les étendues inhabitées étant communes en Islande, il est prévu à la base pour être employé en cas de conditions climatiques adverses. Malgré l'utilisation banalisée de 4x4 de fort gabarit sur l'île, il arrive (souvent) que l'état des routes soit tellement dégradé par le climat qu'il vaille mieux se mettre à l'abri dans une de ces huttes. Celles-ci ne sont par contre absolument pas prévues à ce jour pour protéger d'une éruption.

Le principe n'est pourtant pas inintéressant selon certains aspects. On a vu qu'une grande partie du risque résultait de l'éloignement. Le pays étant vaste, la cabane de survie diminue la distance et le temps mis à rejoindre un lieu offrant une protection. Et une telle solution a l'avantage de ne pas servir uniquement à mitiger le risque volcanique. Il adresse aussi en partie le problème lié à la fréquentation de lieux reculés par les touristes, pour autant que les cabanes soient bien placées.

Il faudrait ajouter quelques fonctions au cahier des charges actuel des cabanes de secours. En imaginant qu'une éruption majeure se produise, elle bloquerait certainement le réseau routier et limiterait très fortement les possibilités d'assistance aérienne, ce qui mène à la nécessité de pouvoir rester protégé au minimum une à deux semaines.

Une sérieuse amélioration structurelle serait nécessaire pour pouvoir supporter la charge de la cendre et des éjectas (il est illusoire de vouloir faire une structure protégeant des plus gros objets), ainsi qu'une implantation en dehors des bassins directs des jökulhlaups. Une solution technique de filtration de l'air devrait en outre être mise en place.

Si ces cabanes de survie répondaient à plusieurs dangers, leur principe d'action resterait de n'être utilisées qu'en cas de catastrophe ou de situation du domaine de l'inhabituel. Elles pourraient combler un champ particulier des risques volcaniques.



Capsules d'éjection en mer

Comme vu précédemment, les moyens de déplacement terrestres et aériens sont largement condamnés en cas d'éruption explosive. Reste la mer comme environnement de navigation, de fuite, de condition de survie à moyen terme.

La mer offre de fait plusieurs avantages au regard du problème qui nous intéresse. Premièrement, les risques de jökulhlaups y sont évidemment inexistantes, si ce n'est au moment de quitter la côte. Quant aux problèmes liés aux cendres, ils sont bien moindres que sur la terre ferme. En effet, si les cendres atmosphériques sont aussi présentes au large, leur concentration diminue bien plus vite, car une fois qu'elles atteignent la surface de l'eau, elles sont absorbées, alors qu'elles continuent à être remobilisées par le vent sur l'île.

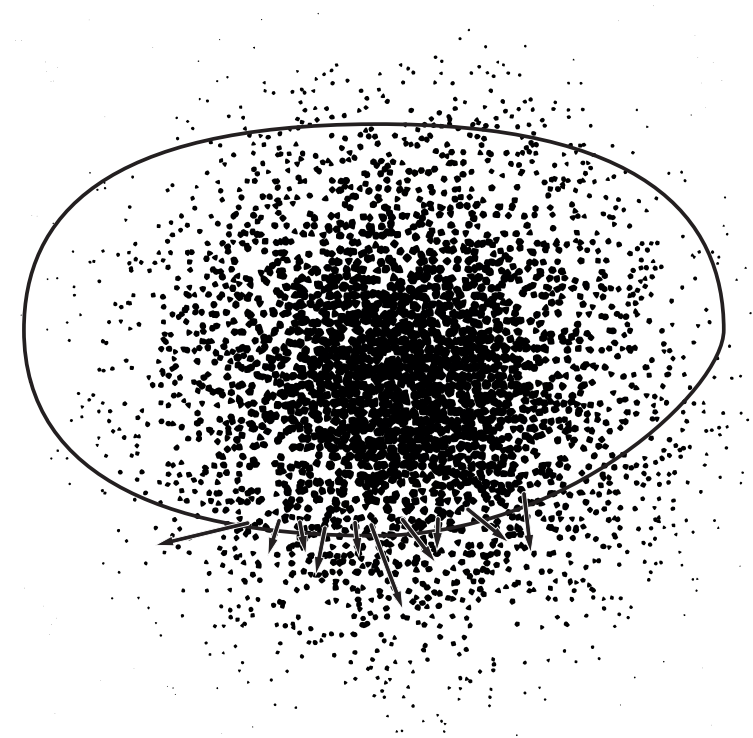
Une fuite marine est d'autant plus envisageable qu'une culture de la mer existe encore en Islande. Les bateaux déjà existants, même en nombre faible, pourraient être utilisés. Pour étendre les capacités d'évasion, des capsules d'évacuation pourraient être mises en place. C'est une solution très efficace à court terme, car les effets mécaniques directs de l'éruption sont mis à une distance raisonnable.

Cependant, différents problèmes surgissent. La mer, si elle peut servir d'échappatoire, n'est pas forcément un environnement accueillant non plus. L'approvisionnement est aussi délicat. Si à court terme, des rations stockées à bord peuvent suffire, à plus long terme il est problématique. Il est en partie balancé par la possibilité de pêche, mais celle-ci est par essence hasardeuse. On peut objecter que dans un délai raisonnable, ces capsules peuvent atteindre une région moins exposée de l'Islande. Mais même

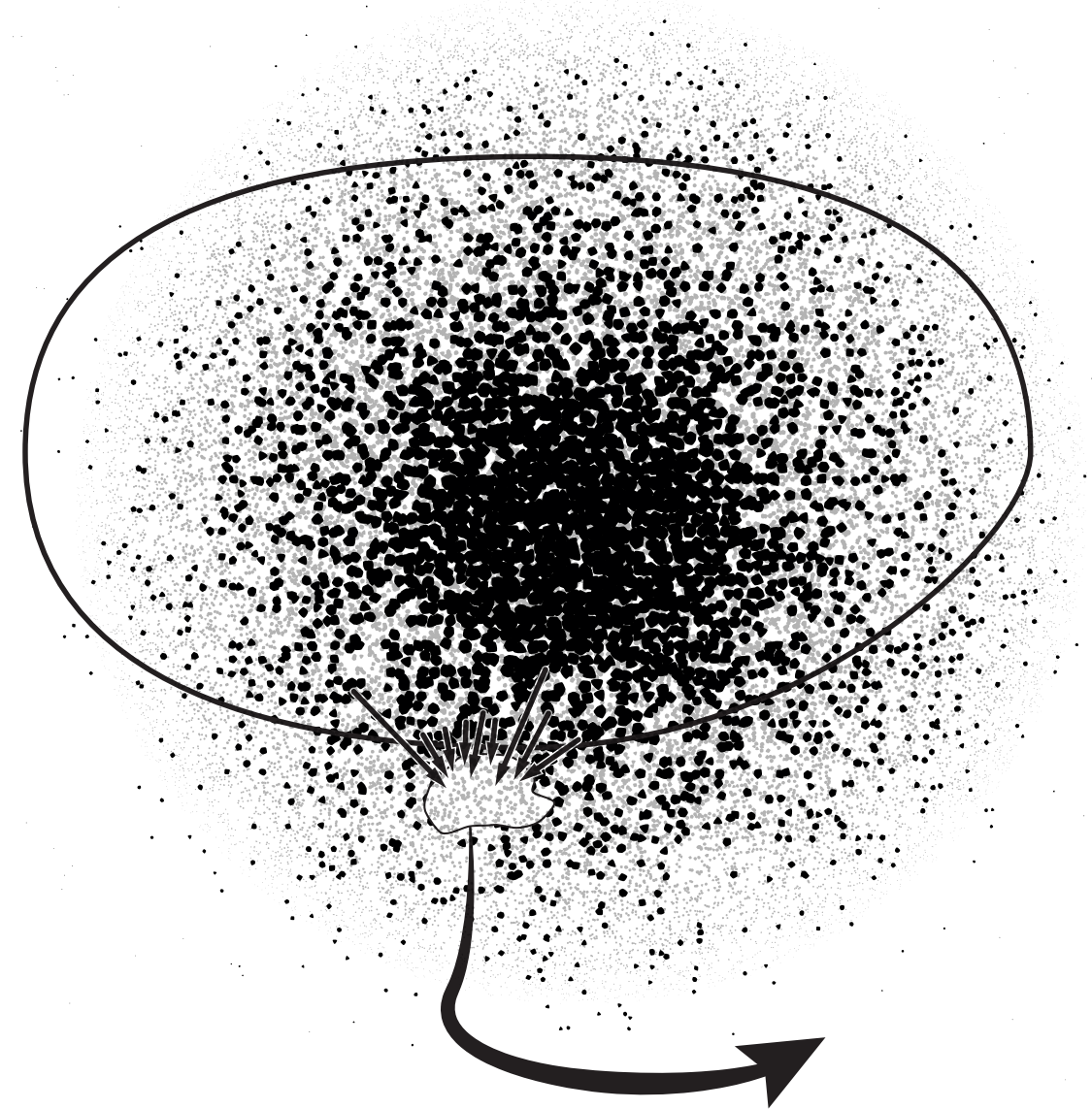
moins exposée, lors d'une éruption majeure, c'est l'île entière qui est recouverte de cendres.

Un dernier problème est que chaque capsule est faite pour un nombre très limité de personnes. S'ils ont un besoin d'autonomie très fort, il s'exprime aussi à l'échelle de la communauté. Dans la détresse, les Islandais sont fiers de pouvoir s'entraider et l'affirment aussi comme adaptation à la condition insulaire. Ces capsules apparaissent dès lors comme un moyen technique peu en phase avec la réalité locale.

Un moyen d'évacuation maritime d'une communauté pour une durée étendue lèverait une partie des obstacles.



Un moyen d'évacuation maritime d'une communauté pour une durée étendue lèverait une partie des obstacles.



Références

Björnsson, Helgi. 2003. "Subglacial Lakes and Jökulhlaups in Iceland." *Global and Planetary Change* 35 (3-4) (February): 255-271. doi:10.1016/S0921-8181(02)00130-3.

Björnsson, Sveinbjörn, Inga Dora Gudmundsdottir, and Jonas Ketilsson. 2010. "Geothermal development and research in iceland."

Blong, R.J. 1984. "Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions". Academic Press, Australia.

Doumenge, François. 1984. "Unité Et Diversité Des Caractères Naturels Des Îles Tropicales." *Nature Et Hommes Dans Les Îles Tropicales*, Bordeaux, CRET (3). Îles Et Archipels: 9-24.

Einarsson, Markús Á. 1984. *Climate of Iceland*. Elsevier. World Survey of Climatology: 15: Climates of the Oceans. Amsterdam: H. van Loon.

Gregory, N.G., and V.E. Neall. 1996. "Volcanic Hazards for Livestock." *Outlook on Agriculture* (25): 123-129.

Gudmundsson, Magnús T., Guðrún Larsen, Ármann Höskuldsson, and Ágúst Gunnar Gylfason. 2008. "Volcanic Hazards in Iceland". Science Institute, University of Iceland.

Hooper, A., F. Prata, and F. Sigmundsson. 2012. "Remote Sensing of Volcanic Hazards and Their Precursors." *Proceedings of the IEEE* 100 (10) (October): 2908-2930. doi:10.1109/JPROC.2012.2199269.

IMO. 2013. "Icelandic Meteorological Office." Accessed January 7. <http://en.vedur.is/>.

"IMO, Tremor." 2013. Accessed January 7. <http://hraun.vedur.is/ja/englishweb/tremor.html>.

Johnston, D. M. 1997. *Volcanic Impact Assessment for the Auckland Volcanic Field: a Report*. Ed. I. A. Nairn, T. (Institute of Geological & Nuclear Sciences Limited Thordarson, M. (Auckland Regional Council Auckland) Daly, Wairakei Research Centre (N.Z.), and Auckland (N.Z. : Region). Technical Publication / ARC Environment 79. Auckland: Auckland Regional Council.

Kaminski, Edouard. 2013. "Institut De Physique Du Globe De Paris - Éruptions Explosives." Accessed January 7. <http://www.ipgp.fr/pages/061203.php>.

Karlsdóttir, Sigrún, Ágúst Gunnar Gylfason, Ármann Höskuldsson, Bryndís Brandsdóttir, Evgenia Ilyinskaya, Magnús Tumi Gudmundsson, and Þórdís Högnadóttir. 2012. "The 2010 Eyjafjallajökull Eruption, Iceland." Ed. Barði Þorkelsson. Icelandic Meteorological Office, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, The National Commissioner of the Icelandic Police.

Labadie, J.R. 1994. "Volcanic Ash and Aviation Safety: Proceedings of the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety." *U.S. Geological Survey Bulletin* 2047: 125-128.

Munro, Adam, and David Parkin. 1999. "The Volcanic Risk Mitigation /Environment Waikato Policy Series 1999/10". Waikato Regional Council.

National Land Survey of Iceland. 2013. "Landmælingar Íslands - Nákvæmni • Notagildi • Nýsköpun." Accessed January 7. <http://www.lmi.is/>.

Neild, J., P. O’Flaherty, P. Hedley, R. Underwood, D. Johnston, B. Christeson, and P. Brown. 1998. “The Impact of a Volcanic Eruption on Agriculture and Forestry”. MAF Technical Paper.

Protection Civile Islandaise. 2013. “Prévention Et Réponse, Eruption Volcanique.” Accessed January 7. http://www.almannavarnir.is/display.asp?cat_id=137.

Univ savoie. 2013. “Séismes Et Trémors Volcaniques.” Accessed January 7. http://www.lgit.univ-savoie.fr/EquipeVolcan/ecoute_volcan.html.

Statistics Iceland. 2013. “Statistics Iceland.” Accessed January 7. <http://www.statice.is/>.

Taglioni, François. 2007. “Les petits espaces insulaires au cœur des revendications frontalières maritimes dans le monde.” *L’Espace Politique*. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique (1) (January 1). doi:10.4000/espacepolitique.732. <http://espacepolitique.revues.org/index732.html>.

Thordarson, T., S. Self, N. Óskarsson, and T. Hulsebosch. 1996. “Sulfur, Chlorine, and Fluorine Degassing and Atmospheric Loading by the 1783 –1784 AD Laki (Skaftár Fires) Eruption in Iceland.” *Bulletin of Volcanology* (58): 205 –225.

VLIZ. 2013. “Maritime Boundaries Geodatabase, Version 7.” Accessed January 7. <http://www.marineregions.org/>.

Bibliographie générale

Bachmann, Hugo. 2002. Conception Parasismique Des Bâtiments Principes De Base à L'attention Des Ingénieurs, Architectes, Maîtres D'ouvrage Et Autorités. Office Fédéral de l'Eau et de la Géologie. Ittigen.

Besse, Jean-Marc. 2000. Voir La Terre: Six Essais Sur Le Paysage Et La Géographie. Actes Sud/ENSP. Paris.

Cauquelin, Anne. 2000. L'invention Du Paysage. Presses Universitaires de France. Paris.

Collot, Michel. 2011. La Pensée-paysage. Philosophie, Arts, Littérature. Actes Sud/ENSP. Paris.

Comment, Bernard. 2000. Das Panorama. Nicolai. Berlin.

Costanzo, Matteo, Kersten Geers, Francesca Pellicciar, Giovanni Piovene, Giovanna Silva, Pier Paolo Tamburelli, Andrea Zanderigo. 2011. SAN ROCCO: Islands, Issue 1, Winter. Milan: Matteo Chidoni.

Dorward, Sherry. 1990. Design for Mountain Communities: A Landscape and Architectural Guide. Van Nostrand Reinhold. New York.

Gaillard, Olivier. 1996. Babil Avec Un Insulaire De Fortune. Lausanne.

Guichonnet, Paul. 1972. Iles De l'Atlantique. Mondo. Lausanne.

Kjeldsen, Kjeld. 2011. Living: Frontiers of Architecture III-IV. Louisiana Museum of Modern Art.

Lamunière, Inès. 2006. Habiter La Menace. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Architecture. Lausanne.

Magnason, Andri Snær. 2008. Dreamland: A Self-Help Manual for a Frightened Nation. Citizen-Press. Londres.

Marimoutou, Jean-Claude, Jean-Michel Racauld. 1995. L'insularité, Thématique et Représentations. L'Harmattan. Paris.

November, Valérie, Marion Penelas, Pascal Viot. 2011. Habiter Les Territoires à Risques. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Espace En Société. Lausanne.

Pelletier, Phillippe. 2010. L'anarchisme. Le Cavalier Bleu. Paris.

Péron, Façoise. 1993. Des Iles Et Des Hommes: L'insularité Aujourd'hui. Edilarge, éditions Ouest-France. Rennes.

Rojas, Sergio, Hernán Ayarza, Luis Crisosto. 1977. Comment Réparer Les Bâtiments Endommagés Par Un Séisme. Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales.

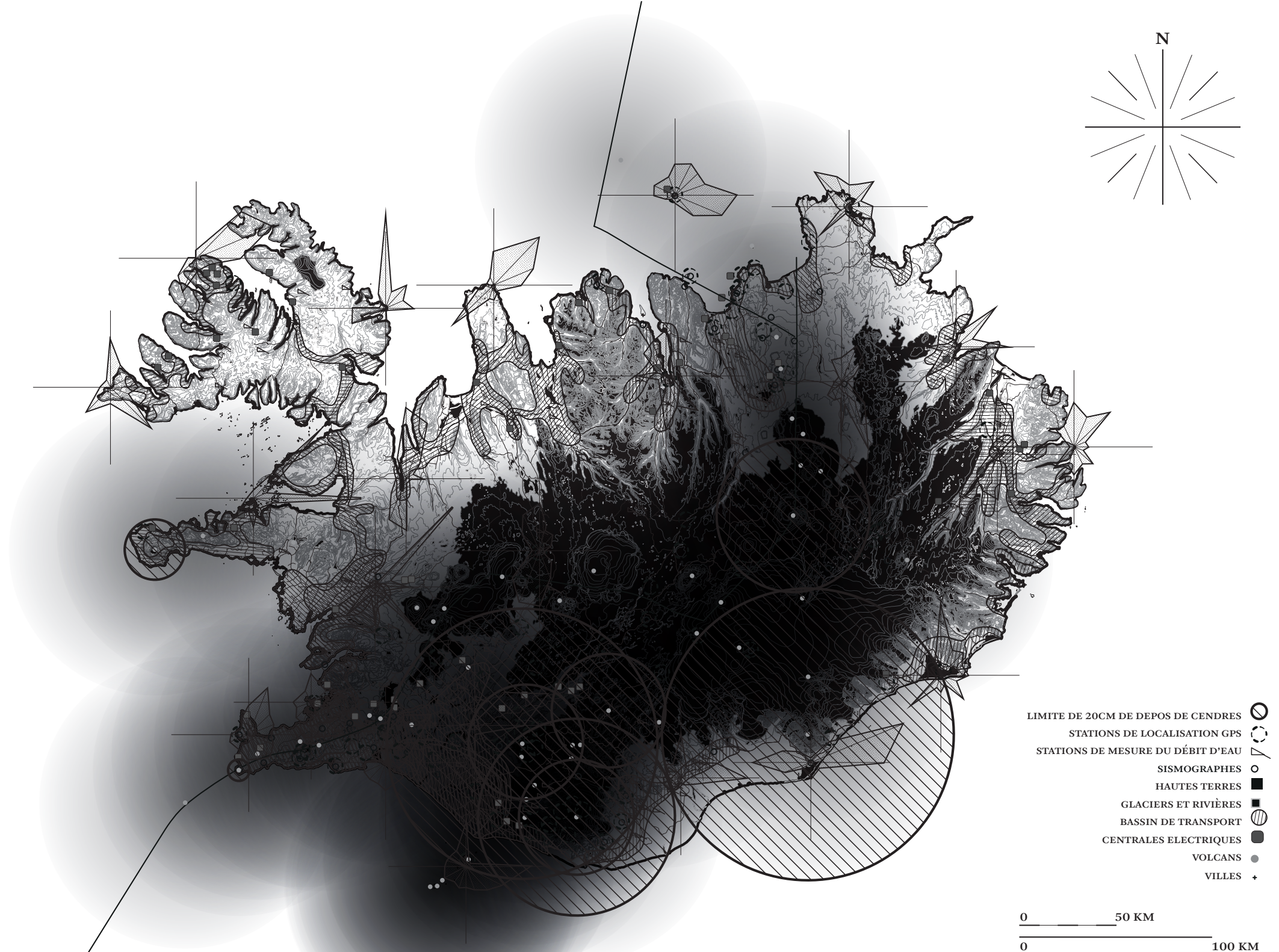
Royle, Stephen A. 2011. A Geography of Islands: Small Island Insularity. Routledge. Londres et New York.

Sanguin, André-Louis. 1997. Vivre Dans Une Ile: Une Géopolitique Des Insularités. L'Harmattan. Paris.

Sigmudsdóttir, Alda. 2011. The Little Book of the Icelanders. Textasmiðjan. Reykjavik.

Signer, Roman, Tumi Magnússon. 2010. When You Travel in Iceland You See a Lot of Water: a Travel Book/ein Reisebuch. Scheidegger & Spiess. Zürich.

Slavid, Ruth. 2009. Architecture Des Limites: Construire En Milieu Hostile: Du Désert Au Vide Interplanétaire. Seuil. Paris.



Énoncé théorique
Master en Architecture_EPFL
Janvier 2013