

ANDRÉ CAILLEUX

Action du vent sur les formations volcaniques en Islande

(Avec 8 planches et 10 figures dans le texte)

Avant - propos

Je me propose d'apporter ici une contribution à l'étude des relations entre l'action du vent et les phénomènes volcaniques en Islande. Le sujet n'est pas nouveau. L'importance des actions éoliennes qui s'exercent en Islande et la part prise par les phénomènes volcaniques à leur genèse ont été reconnues par tous les auteurs qui ont eu l'occasion de voyager dans l'île. On trouvera, à la fin de cette étude, la liste des principales publications qui leur ont été consacrées ou qui en font mention.

Pour ma part, je suis allé en Islande en Août et Septembre 1937, spécialement pour y étudier l'action du vent. Je voudrais indiquer ici les principaux faits observés, en les envisageant dans leurs rapports avec les phénomènes volcaniques. J'essaierai en outre d'utiliser les quelques connaissances que j'ai pu acquérir, par ailleurs, sur le terrain, depuis 1931, en France, Allemagne, Scandinavie, Pologne... etc., relativement à l'action du vent, pour montrer dans quelle mesure les phénomènes volcaniques particuliers à l'Islande affectent les modes usuels d'action éolienne.

Mon ami HÁKON BJARNASSON m'a très aimablement associé à ses courses et m'a largement aidé à comprendre la géologie de l'Islande. Mes confrères et amis Islandais et Danois JOHANNES ÁSKELISON, PÁLMI HANNESSON, NIELS NIELSEN et AXEL NORVANG m'ont donné de précieuses indications. Les autorités islandaises et françaises, notamment M. ZARZECKI, consul de France à Reykjavik, ont

tout fait pour faciliter ma tâche. Mes maîtres, et en particulier Monsieur le Professeur Albert MICHEL-LEVY, m'ont aidé de leurs conseils et de leur appui. Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de ma gratitude.

Aperçu sur la géologie de l'Islande

Nous rappellerons que le socle de l'Islande est constitué par d'anciens basaltes, épais de plusieurs milliers de mètres et contenant vers leur base de très rares intercalations de lignites à flore Eocène; ils vont probablement jusqu'au Miocène inclus. Ils forment le quart Nord-Ouest et l'extrémité Est de l'île. Une très large bande, comprenant le Nord-Est, tout le centre et tout le Sud de l'Islande, a été ensuite affectée, jusques et y compris l'époque actuelle, par des effondrements d'origine tectonique; c'est là que les formations plus récentes sont le plus développées. Le Pliocène est marqué par un affleurement très localisé (Tjörnes) de Crag fossilifère. Puis vient, surtout dans le Sud, la « Palagonite », alternances répétées de formations généralement consolidées, volcaniques (basaltes, tufs... etc.) ou sédimentaires détritiques (glaciaires, fluviatiles... etc.); sa puissance dépasse plusieurs centaines de mètres; elle forme des montagnes entières; son âge présumé est Quaternaire ancien et moyen. Viennent enfin des formations d'âge Quaternaire plus récent à Actuel; elles épousent les formes de la topographie actuelle et dépassent rarement 30 à 40 m. de puissance. Ce sont d'abord des dolérites et des moraines meubles anciennes et ensuite le Postglaciaire comprenant des appareils volcaniques externes, laves, projections, complexes fluvio-glaciaires actuels, limons éoliens... etc. En résumé, on a la succession suivante :

Quaternaire	{	Postglaciaire. Formations volcaniques et sédimentaires. Moraines meubles.
récent		Dolérites.

Quaternaire ancien (Palagonite = Alternance de forma-
(et Postpliocène)) tions consolidées volcaniques et sé-
dimentaires.

Pliocène. Crag fossilifère de Tjörnes.

Miocène) Basaltes tertiaires avec rares intercalations de
et Eocène) lignites fossilifères.

Les actions éoliennes que nous avons observées datent du Postglaciaire et du stade des moraines meubles anciennes ; d'autres auteurs en ont signalé dans la Palagonite (Lit. 15, 16... etc.). On n'en connaît pas de plus anciennes.

A. — Méthodes d'étude

Les principaux faits et critères caractérisant l'action du vent peuvent se classer ainsi :

1. Déflation.
2. Accumulation.
3. Usure des galets et blocs.
4. Usure des grains de sable.
5. Tempêtes de poussières.

La présente étude est fondée sur les critères 1, 2 et 3. Il résulte d'un premier examen que l'étude de l'usure des grains de sable-4-est pleine de promesses ; mais nous ne l'avons pas abordée ici.

Disons quelques mots des tempêtes de poussières-5 ; à la fois familières et odieuses à tous ceux qui ont parcouru l'Islande. Elles sont déjà mentionnées dans les antiques Sagas des premiers occupants. J'en ai pour ma part observé plusieurs, dont une sur le Skeidararsandur : le nuage de poussières naît des bancs de sable et vase sur le bord immédiat des cours d'eau. J'en ai recueilli le matériel, à 2, 5 mètres au-dessus du sol ; il consiste en particules de matière volcanique (principalement vitreuse) qui mesurent 0,04 mm. en moyenne. Il est remarquable que cette taille de 0,04 mm. soit aussi celle qui domine dans les limons Islandais, certainement accumulés par le vent.

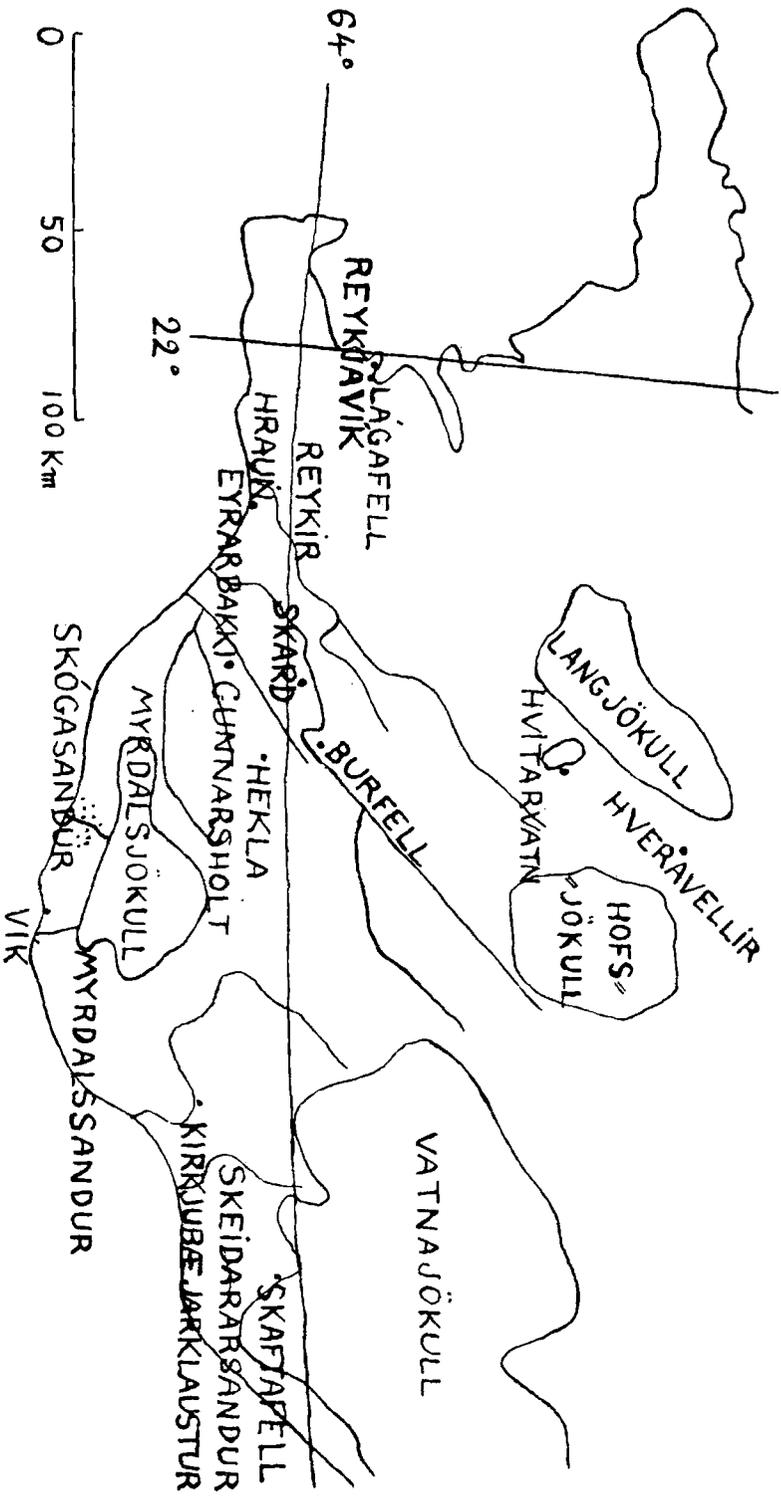


Fig. 1.—Iceland, partie méridionale.
Iceland, southern part.

Plan

Nous étudierons successivement :

I. Action du vent sur les coulées basaltiques récentes et anciennes.

II. Action du vent sur les tufs volcaniques et sur le matériel pyroclastique des formations sédimentaires consolidées.

III. Action du vent sur les cendres et lapillis.

IV. Action du vent sur les blocs, galets et grains de matériel volcanique repris dans les formations sédimentaires meubles.

I. — Action du vent sur les coulées basaltiques récentes et anciennes

A. — Le champ de laves de Hraun près Hjalli

Disposition générale. — Hraun est une localité située à 40 Km. au SE de Reykjavik, à 2 Km, 5 au SSW de Hjalli, à 4 Km, 5 au Nord du rivage de l'Océan. Une coulée de laves récentes, à texture vacuolaire, descendue des hauteurs situées au Nord, est venue s'étaler en pente douce vers la mer ; elle se compose d'une alternance de petites dépressions et de bombements elliptiques, hauts de quelques mètres, longs de 10 à 20 mètres, et souvent affectés de cassures béantes qui atteignent plusieurs mètres de long et paraissent dues à des tassements. Elle se trouve actuellement recouverte et attaquée par le sable que la mer accumule sans cesse au Sud, à la côte, et que le vent pousse ensuite vers l'intérieur. En suivant ce processus dans le sens où il se développe, c'est-à-dire du Sud (ou Sud-Est) vers le Nord (ou Nord-Ouest) on rencontre les zones suivantes :

1.° Au Sud, la mer a rejeté d'immenses quantités de sable qui ont complètement colmaté la côte. L'estran est entièrement plat et sableux. Les grains de sable me-

surent 0,2 à 0,5 mm environ ; ils sont, comme presque partout en Islande, noirs, principalement formés de fins éléments volcaniques (minéraux et verre).

2.^o Les sables ainsi accumulés par la mer deviennent la proie du vent.

Des dunes actuelles, avec ripple-marks éoliennes et végétation très clairsemée (de *Festuca arenaria*, si je me souviens bien), bordent l'estran au Nord. Leur sable est, en première approximation, identique à celui de la plage. Leur hauteur atteint 10 mètres à la côte ; vers l'intérieur c. a. d. vers le Nord, elle décroît.

3.^o A 50 mètres environ au Nord du rivage, commence une zone large de 500 m. environ, où le sable est humide. Dunes rares, petites, ne dépassant pas 2 à 4 mètres de haut.

4.^o Au delà, et sur environ 4 Km. vers le Nord, jusqu'à Hraun, s'étend la coulée de lave, plus ou moins empatée par le sable. Etudions de plus près cette 4^{ème} zone.

Accumulation de sable sur la lave. — Le sable est accumulé contre les bombements de lave, surtout sur leurs flanc. Il remplit, en totalité ou en partie, les intervalles des fissures et des fractures de la lave. En surface, les grains de sable paraissent plus gros, atteignant 1mm., ronds ; en profondeur, ils ne dépassent guère 0,5 mm. et rappellent tout à fait ceux de l'estran et des dunes. Les accumulations de sable, ainsi que la maigre végétation d'herbes xérophytes qu'elles portent, décroissent vers le NW ; elles se réduisent finalement, aux approches de Hraun, à une simple colmatation des principaux trous dans la lave, et à un mince revêtement au bas du flanc des bombements.

Fragments de lave façonnés par le vent. — Parallèlement à l'accumulation, on voit décroître, du SE ou NW l'action érosive du sable sur la lave. Vers le Sud-Est, la surface du sol est parsemée, par places, de morceaux de lave de 5 à 20 cm. de long magnifiquement travaillés par le vent (Pl. I. fig. 2). Leur surface exposée à l'air est formée de 2 à 3 faces limitées par des arêtes. Les faces sont très lisses, ce qui les distingue de cassures fraîches.

Elles sont planes dans leur ensemble, ce qui les distingue de galets longuement brassés par l'eau ; dans le détail, elles sont parfois un petit peu convexes ou gondolées ; mais le rayon de leur courbure ne descend pas au-dessous de 10 cm, ce qui les différencie encore des galets fluviaux ou marins. Les arêtes qui les limitent ne sont, contrairement au cas des cassures fraîches, ni tranchantes ni en ligne brisée, mais douces au toucher, rectilignes ou légèrement sinueuses. Contrairement à celles des galets usés dans l'eau, ces arêtes ne sont pas très émoussées ; leur tracé est net ; leur rayon de courbure, dans le plan normal aux faces qu'elles limitent, est petit ; il descend souvent au-dessous de 1 mm.

De tels aspects des faces, et surtout des arêtes, se rencontrent seulement sur des pierres façonnées par le vent (cailloux du Sahara... etc). On les désigne souvent sous le nom de Dreikanter ; terme déplorable, parcequ'ils sont loin d'avoir toujours 3 arêtes ; mieux vaut les appeler, en anglais, windworn stones, et en français, cailloux éoliens ou cailloux éolisés. Ils sont, au Sud de Hraun, tout à fait typiques ; ils montrent que le vent exerce là, sur les fragments de lave, une érosion intense.

Les caractères décrits ci-dessus, étant les mêmes sur les laves de Hraun, à texture aphanitique, d'une part et de l'autre sur les quartz, grès, porphyres, granites et calcaires d'autres gisements (France, Europe septentrionale... etc.) sont, au moins partiellement, indépendants de la nature du matériel constituant, et valables dans la mesure où celui-ci est homogène. Dans la nature où il est hétérogène, d'autres caractères peuvent apparaître. Tel est précisément le cas à Hraun. La lave est fortement vacuolaire. Or les vacuoles d'un fragment éolisé se présentent sous deux aspects bien différents. Sur la ou les faces inférieures cachées, reposant dans le sable, elles sont fraîches, étroites et à bord net. Sur les faces supérieures, exposées à l'air, elles sont au contraire nettement élargies, évasées, usées, à bord émoussé. Une telle usure ne se rencontre jamais sur les vacuoles des blocs ou galets façonnés par la

mer ou les fleuves. Von KNEBEL (Lit. 10) l'a observé sur des blocs de lave dans les déserts du centre de l'Islande (p. 133) et l'a attribuée au vent. Nous donnerons plus loin des observations faites à Gunnarsholt, et qui confirment cette interprétation.

Au Sud de Hraun, la distribution topographique des fragments de lave éolisés ou non, est très remarquable : en certaines places, on ne trouve que des fragments frais, en d'autres que des fragments éolisés ; les mélanges sont très rares. Cette localisation des cailloux éoliens en îlots bien définis, distants de 50 m. ou davantage, n'est pas particulière à Hraun mais tout à fait générale (au moins dans les régions tempérées et froides). Dans les environs de Hraun, comme partout ailleurs, il n'y a de cailloux éoliens qu'aux points, somme toute assez exceptionnels, où ont dû se trouver réalisées simultanément les conditions suivantes :

1.^o Le vent a soufflé suffisamment fort.

2.^o Il a transporté assez de sable pour user les cailloux.

3.^o Il n'a pas trop accumulé le sable ; ce qui aurait eu pour effet d'ensevelir les cailloux.

4.^o Présence de cailloux éolisables.

5.^o Manque de couvert végétal.

Dans la région de Hraun, les cailloux éolisés paraissent avoir été originellement, pour la plupart, des fragments frais, détachés de la lave en place immédiatement voisine, par exemple sous l'action du gel et du dégel, plutôt que des galets de lave rejetés par la mer lorsqu'elle accumulait les sables qui ont maintenant colmaté la côte.

Quelle qu'en puisse être l'origine, ces cailloux éolisés sont d'autant plus rares et d'autant moins typiques qu'on s'éloigne de la côte et qu'on s'avance vers le NW. Finalement, à Hraun même, ils manquent totalement ; et on trouve seulement des fragments de lave à cassures fraîches.

Usuré de la lave en place. — Jusqu'ici, nous n'avons décrit que les fragments détachés de la lave. La surface de la lave en place montre, elle aussi, deux aspects bien

différents. Là où persiste une maigre végétation clairsemée c. a. d. vers le NW, et aussi sur le flanc de certains bombements, elle est cordée et brune. Au contraire, là où la végétation manque, c. a. d. vers le SE et surtout au sommet des bombements, l'aspect cordé est érodé; il en résulte de grandes surfaces planes ou faiblement convexes, très lisses, très grises, très curieuses. L'absence de croûte brune d'oxydation paraît bien due, en partie au moins, à l'usure éolienne qui a nivelé le relief cordé, soit que la couleur brune ait existé en surface et ait ensuite disparu sous l'effet de l'usure, soit que l'usure ait agi trop vite pour que l'enduit brun ait eu le temps de se former.

L'usure s'est exercée aussi sur les grandes fractures qui ont affecté la lave. (Pl. I. fig. 1); loin de présenter des cassures fraîches et rugueuses, les fractures ont une surface remarquablement émoussée, lisse, doucement onduleuse. Fait à noter, l'intersection entre la fracture et surface supérieure de la lave est très tranchée et forme une véritable arête, à tracé légèrement sinueux.

Ainsi, là où elles sont exposées au vent chargé de sable, la surface de la lave, celle des cassures et les arêtes qui séparent les unes des autres, présentent les caractères typiques de l'usure éolienne que nous avons décrits ci-dessus, à plus petite échelle, sur les fragments de lave.

Age. — Les laves de Hraun sont antérieures à l'arrivée de l'homme sur l'île, c. à d. à l'an 872; mais il semble qu'elles ne soient pas très anciennes. En effet, là où le vent ne l'a pas érodée, leur surface est encore très fraîche. Et non loin de Hraun, à 5 Km. environ au SW de Reykir, on voyait en 1937, dans de petites gravières temporaires, une autre coulée du même complexe reposant sur les alluvions récentes, certainement post-glaciaires, du fleuve Ölfusà ou de ses affluents. Les coulées de Hraun sont donc assez récentes. L'action du vent s'y exerce depuis peu, vraisemblablement depuis 10 à 15 siècles. Cette évaluation est confirmée par l'exemple de Roros, en Norvège, où 3 siècles environ d'action éolienne ont imprimé à des galets un façonnement éolien incontestable, mais certaine-

ment, dans l'ensemble, bien moins poussé (3 à 5 fois moins) qu' à Hraun.

**B. — Observations sur d' autres champs de lave récents
et sur les basaltes anciens**

Si, des laves de Hraun, nous passons à d'autres champs de lave ou aux basaltes anciens, les phénomènes observés sont bien différents. On rencontre encore, il est vrai, des accumulations éoliennes de sables et surtout de poussières ; mais la lave et le basalte ne portent pas de marque d' usure par le vent. Déjà, von KNEBEL (Lit. 10, p. 128), avait remarqué que, par opposition aux tufs, les plateaux basaltiques anciens prennent très difficilement l' empreinte éolienne ; le vent chargé de poussière et de sable ne laisse à leur surface pas de trace notable ; tout au plus rendrait-il polies et luisantes les petites aspérités. Nos observations sur les laves récentes, Hraun excepté, nous ont conduit à des résultats analogues. En voici quelques exemples.

Entre Galtalaekur et Skard, sur la partie Sud du champ de lave Merkurhraun, des cendres volcaniques sont accumulées en petites dunes de 1 à 2 m. de haut, de plus en plus nombreuses vers le Sud ; mais la lave elle-même ne porte pas trace d' usure éolienne.

La région située au Nord du Myrdalssandur est occupée par deux séries de laves, l'une interglaciaire, l'autre datant de 1783 ; ni l' une ni l' autre ne portent de signe d' érosion par le vent. La lave de 1783 est couverte d' une mousse sous laquelle, par places, le sol en voie de formation atteint au plus 5 cm. environ. La lave interglaciaire est surmontée d' un sol plus épais, portant une végétation plus abondante, mousses et herbes. Il existe bien quelques petites accumulations de sables éoliens, avec ripple-marks éoliennes et rares touffes d' herbe ; mais elles sont localisées aux rives des cours d' eau et liées aux apports sableux fluviatiles. Il y a donc une différence de comportement vis à vis du vent et de la végétation, entre les laves d' une part et le matériel détritique fluvatile de l' autre.

Cette différence apparaît plus nettement encore à la limite entre les laves et le Myrdalssandur. Rappelons que sandur désigne, en Islandais, de grands espaces graveleux, plans ; leur surface va de 1 à 200 Kilomètres carrés ; lithologiquement, ils sont faits de sables, graviers et blocs de roches volcaniques déposés, lors des grandes débâcles, par les fleuves (actuels ou anciens). Ce sont en somme de grands cônes de déjection fluvio-glaciaires, presque toujours à sec et par suite aisés à observer. Sur le Myrdalssandur lui-même, pas de végétation ; le vent a enlevé les parties fines (poussières) et a rendu luisants les blocs et galets, y compris ceux dont le matériel est analogue à la lave en place voisine ; en quelques endroits, le sable est accumulé en petites ondulations éoliennes, de 50 cm d'intervalle, qui empiètent sur la lave, et y passent à de petites dunes embryonnaires, hautes de 1 mètre, avec touffes d'herbes espacées. A mesure qu'on avance vers l'intérieur du champ de lave, c'est-à-dire vers le Nord Est, les ébauches de dunes diminuent et disparaissent, en même temps que la végétation augmente. Contrairement aux galets du sandur, les laves ne présentent pas d'indice d'usure éolienne, probablement parce que l'abondante végétation qu'elles portent a dû les protéger.

La liaison entre le couvert végétal et l'absence d'usure éolienne se retrouve ailleurs. A Gunnarsholt, localité que nous étudierons plus loin en détail, des laves récentes, à surface chaotique, descendues de l'Hekla viennent au contact de moraines anciennes. La lave et la moraine s'opposent au premier coup d'oeil. La lave nourrit une végétation herbacée notable ; les blocs saillants sont nus, mais entre les blocs, les dépressions et anfractuosités sont colmatées par un sol brun, qui retient bien l'humidité et est couvert d'herbe. En certains endroits, la lave porte des dunes de cendre volcanique. Ailleurs, on y observe par places une accumulation de petits débris de lave formant un fin gravier, localisée au versant Sud-Ouest des blocs de lave, c'est à dire à l'ombre du vent dominant qui vient du Nord-Est ; encore est-il possible que cette accumulation

ne soit pas due seulement au vent, mais peut-être aussi, en partie, au gel et au dégel (solifluxion). En trois heures de recherche, je n'ai pu déceler sur la lave aucune marque d'usure éolienne. Tout au contraire, sur la moraine et le sandur ancien qui lui est annexé, la végétation est nulle ou très espacée, les parties fines ont été enlevées, par le vent, et les signes d'usures éoliennes (une ancienne et une actuelle) sont notables. (Pl. II. fig. 2).

Même opposition enfin à Hveravellir. Là, au voisinage des sources chaudes, une coulée de laves très récente est venue recouvrir des dépôts glaciaires un peu moins récents. Sur le glaciaire : parties fines enlevées ; blocs et galets un peu luisants ; rares touffes d'herbes et de *Salix* nains ; à quelques Kilomètres, sur la piste, dunes embryonnaires. Sur la lave récente, au contraire, pas trace d'action éolienne, sol brun portant une belle végétation d'herbe, qui contraste nettement avec la nudité du glaciaire.

C. — Conclusion

Au total, les laves récentes et, (d'après VON KNEBEL, Lit. 10, p. 128), les basaltes anciens, sont un matériel peu propice à l'action du vent.

Accumulation. — Les cas d'accumulation éolienne, il est vrai, ne sont pas rares sur les laves ; mais ils y sont néanmoins plus rares que sur les formations sédimentaires meubles, et surtout ils sont liés à la présence d'un matériel fin-cendres volcaniques (Galtalaekur) ou sables (Hraun, Myrdalssandur) - étranger aux laves ; lorsque, comme c'est le cas à Hraun et au Myrdalssandur, ce matériel est assez grossier ils sont localisés au voisinage de ses sources.

Erosion. — Hraun mis à part, l'usure éolienne paraît très rare sur les laves. Elle peut manquer même là où l'accumulation éolienne se fait encore sentir (Gunnarsholt, Myrdalssandur). Son absence coïncide toujours avec la présence sur les laves d'un couvert végétal, fût-il réduit à un placage discontinu de mousses. A Hraun, par exception, le couvert végétal manque, et la lave est admirablement

usée par le vent. Il semble dès lors qu'on puisse expliquer comme suit le comportement des laves vis à vis du vent.

L'absence d'usure éolienne sur les laves tient moins à la rareté du matériel usant (sable) qu'à la présence d'un couvert végétal. Les laves, peut-être grâce à leurs anfractuosités et à leur surface souvent irrégulière, sont, en Islande, plus propices à la végétation que les vastes espaces plats des sandurs ou des moraines balayés par les tempêtes de sable. A Hraun, par une exception très remarquable, se trouvent réunies toutes les conditions nécessaires à une usure intense des laves par le vent : les sables sont extrêmement abondants, la surface des laves est relativement plane, et surtout la végétation, contrariée par les conditions défavorables communes à tout littoral, s'ajoutant au climat déjà sévère de l'Islande, n'a pas réussi à prendre pied sur les laves.

II. — Action du vent sur les tufs volcaniques et sur le matériel pyroclastique des formations sedimentaires consolidées.

Elle a été signalée par quelques auteurs. D'après von KNEBEL (Lit. 10, p. 129 et 134) le vent, burinant la surface des formations tuffacées anciennes (Tuffgebirge) y dégage rapidement des formes déchiquetées bizarres : rochers-champignons... etc. Peu à peu, la surface est décomposée en une multitude de formes élémentaires extrêmement découpées. Finalement (loc. cit. p. 114) elle est en majeure partie couverte de fragments de laves isolés, anguleux, vacuolaires, que la désagrégation atmosphérique a dégagés des brèches volcaniques, avec enrichissement sur place tandis que le vent emportait la matrice qui les unissait au fur et à mesure de sa décomposition.

SPETHMANN (Lit. 26, p. 46) a décrit l'action du vent sur les tufs qui affleurent dans les escarpements du Dynjufjöll. Les parois sont polies, les parties plus dures mises en relief. Le vent burine les fractures et fissures. Sur les

surfaces horizontales, on observe des excavations en forme de marmite. SPETHMANN en donne une photographie. Il les attribue à l'action du vent ; ce dernier point nous paraît douteux ; jamais nous n'avons personnellement observé, ni en Islande ni ailleurs, aucune marmite attribuable à l'érosion éolienne.

La mise en relief des parties dures par le vent est au contraire, tout à fait commune. Nous l'avons observée, au Geitasandur, sur les tufs de la « palagonite » en place. Elle se voit aussi sur la palagonite remaniée, à l'état de blocs, dans le matériel des sandur. Les parties fines et moins cohérentes ont été érodées, les galets, plus cohérents, sont saillants (PL. III, fig. 2). Lorsqu'il y a stratification, avec couches inégalement attaquables, les strates les plus dures sont mises en relief (PL. VII, fig. 1). L'abrasion et l'ablation par le vent sont d'ailleurs facilitées et préparées, en certains cas au moins (Geitasandur), par la désagrégation atmosphérique (gel, dégel... etc.).

III. — Action du vent sur les cendres et lapillis.

On sait qu'un des caractères particuliers du volcanisme en Islande est la grande abondance relative des projections. Certaines éruptions s'accompagnent de pluies de cendres et de lapillis qui recouvrent d'immenses territoires. On en trouvera des exemples, dans THORODDSEN (Lit. 30) et THORKESSON (Lit. 27). On peut distinguer deux types d'accumulation. Au voisinage immédiat du cratère et dans un rayon très restreint (quelques kilomètres), les projections atteignent des épaisseurs énormes (plusieurs dizaines de mètres couramment) et comprennent souvent, parmi leur matériel, des éléments grossiers, bombes et blocs. Plus loin, au contraire, et sur des espaces immenses, de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres carrés, les projections sont fines et en couche peu épaisse ; le diamètre des éléments va de la plus fine poussière jusqu'à quelques centimètres ; l'épaisseur de la couche varie entre quelques millimètres et 10 ou 20 cm. Ce second type ayant une

extension bien plus considérable que le premier, sera seul envisagé dans ce qui suit.

Après leur dépôt, les cendres et lapillis peuvent être remaniés par le vent. Déjà ROBERT (Lit. 22, p. 189) mentionnait entre le fleuve Hvitá et le Thjórsá, sur la rive gauche du Hvitá, une « grande plaine stérile couverte de sable ponceux grisâtre. Cette substance légère y forme des espèces de dunes déterminées par.... *Salix arctica*, plante qui se plaît beaucoup dans ce terrain où elle joue, relativement à l'intérieur de l'île, le rôle de *Festuca arenaria* sur ses côtes ».

Nous avons fait, personnellement, quelques observations analogues. Sur la rive gauche du fleuve Thjórsá, aux environs de Skarfanés, les laves de la partie Nord du Merkurhraun portent, surtout dans leurs dépressions profondes de 3 à 4 mètres, des accumulations de cendre volcanique dépourvues de végétation, adossées aux bombements de lave, et dont la surface supérieure est par places fortement inclinée et en d'autres endroits affectée d'ondulations parallèles, distantes de 50 centimètres. Ces accumulations passent localement à de petites buttes ou dunes embryonnaires. Sur la rive même du fleuve Thjórsá, elles portent quelques touffes d'*Elymus arenarius*. Au total, leur origine éolienne est incontestable.

Dans la partie Sud du Merkurhraun, entre Galtalaekur et Skard, on retrouve, ainsi que je l'ai déjà signalé plus haut, des cendres volcaniques accumulées en petites dunes de 1 à 2 mètres de haut, de plus en plus nombreuses vers le Sud.

A côté de ces exemples d'accumulation, j'ai également observé des cas de déflation. Sur la rive droite du fleuve Thjórsá, dans la région du Thjórsárdalur, devenue désertique depuis la destruction des forêts par l'homme (cf. Hákon BJARNASSON, Lit. 1, p. 5 à 35), les cendres et lapillis projetés en abondance lors des éruptions historiques du volcan Hekla sont notablement modifiées en surface. Au pied des pentes Ouest du mont Burfell, par exemple, il arrive qu'en certaines places, les poussières

et parties fines au-dessous de 1 mm. manquent ; leur disparition ne peut être imputée qu'au vannage éolien, et non au ruissellement ; car dans ces formations extrêmement poreuses l'eau s'infiltré instantanément et en totalité. D'autre part, la surface des lapillis, dépourvue de végétation, est par endroits affectée d'ondulations parallèles, distantes de 50 cm à 1 m, soulignées par la triage des matériaux (PL. III, fig. 1), et imputables soit au vent, soit à la solifluxion (gel et dégel... etc.), sans qu'il soit possible, pour l'instant, de trancher.

La région de Gunnarsholt montre à la fois des d'accumulation, de déflation et de triage. A quelques kilomètres au Nord-Est de la ferme de Gunnarsholt, les laves sont en partie empâtées par des accumulations de cendres volcaniques et ponces, avec dunes atteignant 4 mètres de haut et touffes d'*Elymus arenarius*. Un peu plus loin, des espaces de 50 à 100 mètres de rayon, voire davantage, sont entièrement dépourvus de végétation. Le vent a balayé les cendres, enlevé les parties fines. Comme au Burfell, le matériel grossier restant — lapillis — est aligné en bandes parallèles, de 1 mètre environ d'intervalle, avec triage des matériaux. Si on les compare aux laves sur lesquelles elles reposent, on voit que les projections volcaniques fines, cendres et lapillis, ont, dans l'ensemble, un couvert végétal bien moins dense. L'action du vent s'en trouve favorisée, au grand dommage des régions avoisinantes ; car les parties fines enlevées par le vent du Nord-Est aux cendres — et aussi d'ailleurs aux anciens sols — sont emportées vers les régions fertiles du Sud-Ouest et y contribuent, par leur action érosive, à la destruction des sols et, par suite, des pâturages.

Lorsque les cendres et projections volcaniques voisinent avec d'autres matériels meubles, sables ou sols, le remaniement des parties fines par le vent s'exerce simultanément sur ces divers matériels. Tel est le cas, par exemple, près du lac Hvitárvatn. A 400 mètres au NE du Chalet, on observe la coupe suivante.

Vers le Nord, affleurent les dépôts glaciaires récents A : surface sans végétation, gros blocs épars, parties fines enlevées par le vent. Vers le Sud, ils sont recouverts par 1 à 2 mètres de cendres volcaniques plus récentes B, blanches, portant une végétation bien serrée de *Salix* nains. Entre les deux, sur une dizaine de mètres de large, s'étend une petite zone sans végétation (sauf de rarissimes touffes) où le glaciaire est recouvert par des dunes embryonnaires C, en rides longues de 2 à 10 mètres, distantes de 1,50 à 3 m., et formées d'un mélange des cendres blanches et du gravier glaciaire gris. Les cendres sont plus

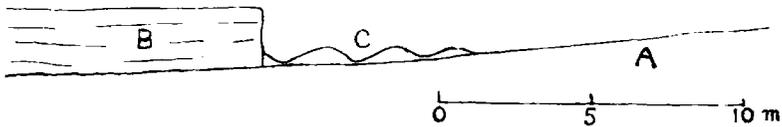


Fig. 2. — Accumulation éolienne actuelle (C) aux dépens de cendres volcaniques (B) et de dépôts glaciaires (A). Hveravellir, coupe verticale.

Present eolian accumulation (C) the material of which is taken from volcanic ashes (B) and glacial deposits (A). Hveravellir, vertical section.

abondantes dans les creux ; leur taille va de 1 à 3 mm. Le gravier glaciaire est plus abondant sur les éminences ; la longueur de ses éléments va, en général, de 2 à 10 mm. ; elle atteint exceptionnellement la taille de 40 mm. qui mesure probablement la dimension extrême des cailloux que le vent peut ici transporter. Le matériel des rides C est visiblement emprunté d'une part au glaciaire et de l'autre aux cendres. De ce côté, le processus est même matérialisé dans le paysage. Au contact des rides C, la couche de cendres volcaniques B ne s'efface pas insensiblement, elle est au contraire brusquement coupée, verticale, à vif, comme s'il s'agissait d'un front de sablière en exploitation ; en réalité, ce sont les débris charriés par le vent qui l'érodent, la creusent, surtout à la base, petit à petit la détruisent et incorporent son matériel aux petites dunes actuelles C.

En résumé, ces phénomènes d'érosion, déflation et accumulation éoliennes sur les projections volcaniques fines s'observent très souvent en Islande. Ils y sont plus fréquents que dans les régions volcaniques tempérées, probablement parce que l'établissement et la persistance d'un couvert végétal protecteur sont gênés par la sévérité du climat (faible insolation, froid, vent violent). Ils doivent aussi leur ampleur à l'abondance des projections, si caractéristique du volcanisme Islandais.

IV. — Action du vent sur les blocs, galets et grains de matériel volcanique repris dans les formations sédimentaires meubles

Le matériel volcanique de tous âges et de toute nature se trouve repris, à l'état de blocs, galets, graviers, grains de sable ou de poussière, dans les formations sédimentaires meubles, d'âge quaternaire récent, postérieures à la Palagonite ; mis à part les tourbes et de rarissimes sables coquillers, il en constitue même la totalité. Sous cette forme remaniée, il est fréquemment l'objet d'actions éoliennes. Pour la commodité de l'étude, nous envisagerons successivement :

- A) Limons.
- B) Formations fluviales et glaciaires.
- C) Formations marines.

A. — Grains volcaniques repris dans les limons

Les sols Islandais se distinguent par de nombreux caractères. 1.^o) Ils sont exclusivement formés de fins débris volcaniques, minéraux et verre. 2.^o) Pour la plupart, ils ne dérivent pas des formations en place sous-jacentes ; leur matériel vient d'ailleurs ; au sens strict de la pédologie ce sont des limons. 3.^o) Les limons sont souvent très épais (plusieurs mètres) et paraissent se former remarquablement vite. Etudions-les de plus près.

1. **Description des limons.** — Ils portent en Islandais le nom de Móhella. On peut y distinguer deux sortes de matériaux. 1.^o) Une masse gris ou brun clair, parfois rouge en surface, formée de fines particules (5 % seulement au-dessus de 0,5 mm.) de matériels volcaniques en général divers, principalement vitreux. Elle est moins cohérente que les sols habituels. Elle absorbe l'eau très facilement, de sorte que celle-ci ne séjourne pas à la surface du sol, mais s'y infiltre. 2.^o) Très souvent, il s'y ajoute de minces intercalations, vaguement parallèles, de cendres ou lapillis, tranchant sur la masse par leur couleur, les unes en plus noir, les autres en plus clair. Chacune d'entre elles forme une couche continue, doucement onduleuse ; son matériel constituant est d'une seule sorte. Les unes sont grossières, leurs éléments atteignant 1 ou plusieurs centimètres. Les autres sont à grain très fin et s'imbibent davantage que le rest du sol ; mais contrairement à ce qu'écrit EMILSSON (I. cit. 3), elles ne sont pas imperméables. Les unes et les autres matérialisent remarquablement les surfaces successives du sol ; elles permettront sans doute d'en retracer l'histoire (recherches inédites de HÁKON BJARNASSON).

2. **Mode d'accumulation des limons.** — L'accumulation de la masse même des limons Islandais n'est due ni aux eaux courantes, puisqu'elle s'étend uniformément sur le fond et le flanc des vallées et sur les collines, ni au ruissellement, dont la faiblesse est attestée par la régularité des intercalations de cendre et s'explique par la porosité extrême des sols. Cette accumulation ne peut-être due qu'au vent. On en voyait, en 1937, le stade de début à la surface dénudée du Helluvadsandur, au Sud-Ouest de Gunnarsholt. Elle est favorisée par la végétation. Les particules constituantes sont arrachées par le vent aux formations les plus diverses : cendres volcaniques, dépôts fluviatiles ou glaciaires... etc. Mais le matériel est toujours en matière volcanique. L'accumulation par voie éolienne est si évidente sur le terrain que, contrairement à celle des limons continentaux, elle n'a jamais été contestée par

personne, mais au contraire reconnue et soulignée par tous les auteurs, GRÜNER (Lit. 5), von KNEBEL (Lit. 10), THORODDSEN (Lit. 28), KOFOED HANSEN (Lit. 11), SAMUELSSON (Lit. 23), EMILSSON (Lit. 4), Niels NIELSEN, HÁKON BJARNASSON. Un rapprochement avec les loess s'impose. Il est remarquable que sous l'effet du vent, des matériels aussi différents que la matière volcanique dans le cas des limons Islandais, le quartz et la calcaire dans le cas des loess, puissent donner lieu à des accumulations si semblables.

3. Destruction des limons. — Là où la végétation qui le recouvre vient à être entravée (déforestation, moutons), le limon mis à nu est attaqué par le vent, son matériel est entraîné au loin, les paturages sont détruits. Le processus est bien connu. Il a été notamment décrit et illustré par SAMUELSSON (Lit. 23, Lit. 24, fig. 5, 14, 15, 28, 29, 30, 32). Je l'ai personnellement observé. Au Sud de Gunnarsholt, par exemple, les limons, épais de 2 à 3 mètres, se terminent vers le Helluvadsandur dénudé par un abrupt d'érosion éolienne, sorte de cuesta en miniature. Sur la rive gauche de la Thjórsá, près de Skarfanen, l'abrupt d'érosion, non rectiligne, est marqué d'indentations dont l'allongement (10 mètres ou d'avantage) est orienté Nord-Est, c'est-à-dire parallèlement au vent dominant. Sur les laves au Nord de Gunnarsholt, le vent burine les anciens sols en véritables yardangs (Pl. V, fig. 1).

4. Conclusions. — 1.^o On voit que le vent peut jouer, vis à vis des limons, deux rôles contraires, accumulation et destruction. Les deux peuvent coexister ; tel est le cas, par exemple, aux environs de Hveravellir, pour certaines buttes de poussière, hautes de 20 à 50 cm., dont on ne peut dire si elles sont en voie d'édification ou de démolition.

2.^o Il est remarquable que sous l'action du vent, le matériel volcanique basique d'Islande puisse prendre les mêmes formes d'accumulation (manteau de limons) et d'érosion (abrupts, yardangs) que les loess continentaux, faits de quartz et de calcite. Ces formes tiennent donc moins à la nature et à la densité des particules constituantes qu'à leur taille très petite.

3.^o Les caractères qui distinguent les limons Islandais de la plupart des autres limons tiennent en partie, les uns (grande perméabilité, faible cohérence) à la nature volcanique du matériel constituant, les autres (grande vitesse d'accumulation) au puissant apport de particules fines fourni par le volcanisme d'Islande.

B. — Blocs, galets et grains volcaniques repris dans les formations fluviales et glaciaires

L'action du vent sur le matériel volcanique repris dans les formations meubles récentes, fluviales ou glaciaires, a été étudiée entre autre par von KNEBEL (Lit. 10, p. 133 et 163) A la surface des dépôts glaciaires qui couvrent le Sprengisandur, vaste désert de l'Islande centrale, les parties fines ont été entraînées par vannage éolien ; les blocs de lave récente et de basalte compact ancien sont souvent (nous reprenons les termes de von KNEBEL) usés en Dreikanter (loc. cit., fig. 14) ; leur surface est polie et lisse ; les alvéoles plus ou moins allongées des laves ont été élargies, leurs bords usés (loc. cit., fig. 14, 15). Nos observations personnelles en d'autres localités permettent, ainsi qu'on va le voir, d'étendre et de préciser ces résultats.

1. — Skógasandur

Disposition générale. — Le Skógasandur, en y comprenant sa partie orientale nommée Sólheimasandur, est une accumulation de matériel volcanique repris sous forme de blocs, galets et grains, dans un complexe fluvioglaciaire. Il mesure 12 Km d'Est en Ouest, 5 Km du Nord au Sud ; il est bordé au Sud par l'Océan Atlantique et au Nord par un massif montagneux portant le glacier Myrdalsjökull et son émissaire Sólheimajökull, d'où naît le fleuve Jökulsá. Le sandur lui-même est un delta à sec, fortement incliné vers la mer (pente 15 : 1000), principalement formé par une ponce noire, à éléments de 1 à 20 mm., assez bien stratifiée, avec intercalations de lits de galets ; il est ir-

régulièrement parsemé en surface de blocs longs de 0,1 à 3 m., faits les uns de tufs palagonitiques, les autres de basaltes. Age présumé : Quaternaire récent.

Le fleuve Jökulsà s'est creusé à travers le delta précédent, une vallée actuelle en contrebas de 10 à 20 m.,

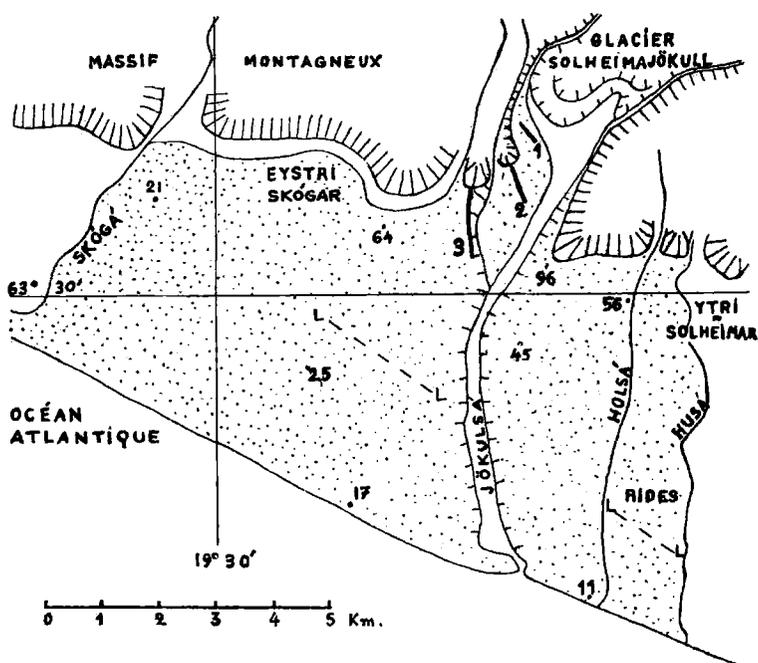


Fig. 3. — Carte du Skógasandur.

Sketch map of Skógasandur.

En pointillé, le sandur. -- 1, 2, 3, remparts morainiques successifs; 1, le plus récent. -- LL. Limite Nord des blocs éoliens typiques. --. Altitudes en mètres.

Dotted area, sandur. -- 1, 2, 3, successive morainic accumulations; 1 is the most recent one. -- LL. Northern boundary of typically wind-worn boulders. -- Altitudes in meters.

large de 500 à 1000 m., et encombrée, en amont, des remparts morainiques subactuels successivement édifiés par le glacier Solheimajökull au cours de ses récents retraits.

Vallée actuelle de la Jökulsà. — Sur la rive droite, on note de petits indices d'action de vent, croissant du Nord

vers le Sud. Dès le 1^{er} rempart morainique vers le Nord, le sable manque en surface, il a été enlevé par le vent. A partir du 2^{ème} rempart, la végétation de mousse disparaît, sauf dans les fonds humides; sur les blocs basaltiques, les stries glaciaires sont souvent effacées; la surface supérieure des galets faits de matière scoriacée est luisante; le flanc Sud du 2^{ème} rempart est empâté, à sa base, par un placage de sable éolien, composé de menus débris volcaniques; enfin, on observe aussi, sur le versant Ouest de l'actuelle vallée de la Jökulsà, au voisinage du pont, des ondulations éoliennes dirigées Est-Ouest, larges de 50 cm. et distantes de 1 à 3 m.

A partir du 3^{ème} rempart, qui est au niveau du delta, les blocs basaltiques sont luisants; quelques uns ont leurs faces aplanies, mais leurs arêtes sont encore mousses et jusqu'ici aucun ne montre encore d'arêtes éoliennes typiques.

Delta quaternaire récent. — Sur le delta lui-même, à l'Est et à l'Ouest de la Jökulsà s'observent des faits d'action éolienne: usure, accumulation.

Sauf en quelques espaces situés vers le Nord et où prospèrent les mousses, la végétation est pratiquement absente.

1.^o — *Usure des blocs basaltiques et tufs.* — Au Nord, vers Ytri Sólheimar et vers Eystri Skógar, les blocs basaltiques sont simplement déchaussés (Fig. 4), luisants et lisses: action du vent possible, mais non encore prouvée. Car l'aspect luisant peut être engendré, non seulement par le vent, mais aussi, en certains cas, par d'autres causes: enduit ferrugineux ou autre... etc. Mais ici, plus on va vers le Sud, plus l'usure éolienne devient évidente. Finalement, près de la mer, dans une zone large de 1 Km. (à l'Est) à 3 Km. (à l'Ouest), les gros blocs de 0,5 à 3 m. sont souvent déchaussés à la base (Pl. III, fig. 2); les galets inclus dans les blocs de tufs palagonitiques sont mis en relief et luisants (Pl. III, Fig. 2); les blocs basaltiques compacts présentent tous les caractères éoliens typiques décrit plus haut à propos des fragments de lave de Hraun (faces, arêtes). L'angle dièdre de leurs faces éoli-

sées est voisin de 120° (3 mesures ont donné 114° , 115° et 123°) alors que sur cassures fraîches il descend souvent au-dessous de 90° . Quelques uns ont la surface supérieure finement vermiculée (Pl. VI, Fig. 1). J'ai noté, sur les faces voisines de l'horizontale de 2 blocs basaltiques de 40 cm. des stries orientées NE (ou SW. sens non observé). Là où, en surface du sandur, les blocs sont rares, comme c'est le cas non loin de la rivière Holsà, les blocs éolisés

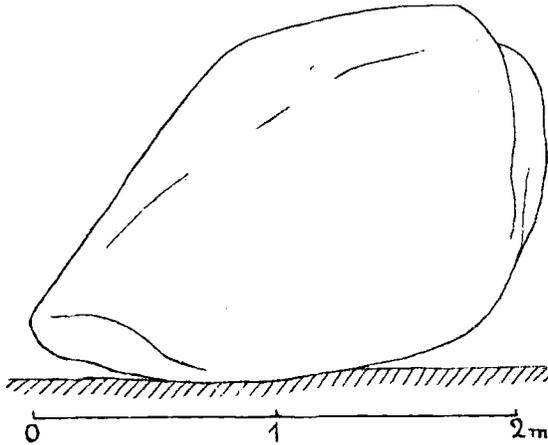


Fig. 4. — Bloc basaltique déchaussé, stade initial d'action éolienne. Skógasandur, région Nord.

Undermined basaltic boulder, initial stage of eolian action. Skógasandur, Northern part.

sont naturellement plus rares, mais ils ne sont pas moins typiques.

Les galets de lave très bulleuse ou de scories se prêtent à une statistique intéressante. On retourne ceux dont la face supérieure est luisante, usée par le vent, et on note si la face inférieure est luisante ou mate, c. a. d. si au cours de son façonnement le galet a été retourné, ou non. La Fig. 5 montre que la proportion des galets usés sur les 2 faces décroît rapidement quand la longueur L des galets augmente. Elle passe de 100 % pour $L = 1$ cm. à 10 % et moins pour $L = 5$ à 10 cm., suivant les régions. Le principal agent de retournement paraît être le vent ;

en outre : pas de l'homme ou des animaux (peu important);
solifluxion (peu probable ; aucune observation à l'appui).

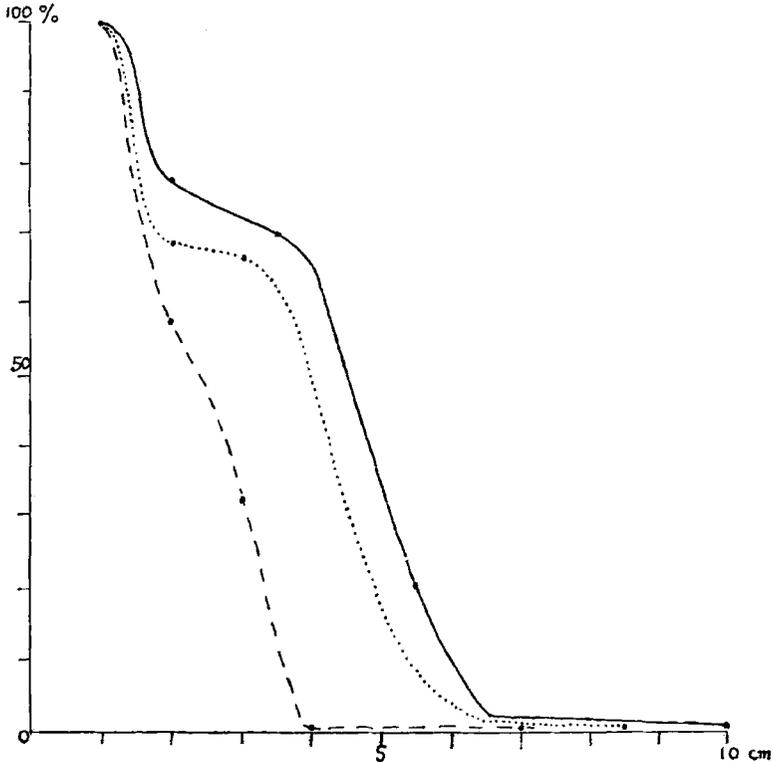


Fig. 5. — Courbes montrant la variation, en fonction de la taille, de la proportion des galets de scories usés par le vent sur leurs deux faces (dessus et dessous), c. à. d. ayant été retournés au cours de leur usure.

Le pourcentage (ordonnées) diminue rapidement lorsque la taille des galets (en cm.; abscisses) augmente. Skógasandur, statistiques en 3 lieux différents.

Curves showing variation, in connection with size, of the percentage of the scoriaceous pebbles worn by the wind on both upper and lower faces (having been turned upside down during wearing). Percentage (ordinates) decreases fast when size of pebbles (abscisses) increases. Skógasandur, statistics in 3 different places.

2.^o — *Matériel usant : sable fin fait de menus éléments volcaniques.* — En retournant un bloc éolisé quel-

conque (Fig. 6) on voit que sa face inférieure est sèche en son centre, humide par temps de pluie sur les bords. Parallèlement, la surface où il reposait comporte au centre la ponce habituelle du sandur, grossière (éléments de 1 à 2 cm.), sèche, décolorée et ocre-clair en surface, noire en profondeur; en périphérie, un placage superficiel d'un sable humide par temps pluvieux, noir, fait d'éléments volcaniques plus fins (1 mm.): grosse majorité de verre; quelques

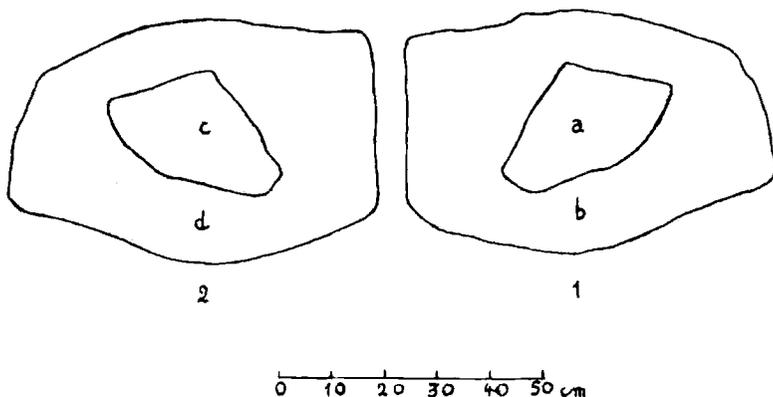


Fig. 6. — Bloc retourné et son empreinte dans le sol. Skógasandur.

1. Empreinte sur le sol. -- a, ponce volcanique grossière, sèche, ocre en surface, = substrat. -- b, sable volcanique noir, fin superficiel, ici humide; sec, il constitue le matériel usant les blocs. -- 2. Bloc basaltique, face inférieure. -- c, partie centrale sèche. -- d, zone périphérique humide.

Boulder turned upside down and its stamp on the ground. Skógasandur.

1. Stamp on the ground. -- a, dry coarse volcanic pumice; superficially buff; = underground. -- Black, wet fine volcanic sand; = wearing material (when dry). -- 2. Basaltic boulder, lower face. -- c, dry central part. -- d, wet external zone.

fragments d'augite, olivine et feldspaths. Ce placage de sable fin est d'autant plus épais que les blocs sont plus éolisés; il atteint 5 à 10 cm. vers le Sud du sandur; vers le Nord, il s'amincit et finalement disparaît, en même temps que les dernières traces d'usure éolienne. C'est donc ce sable qui, charrié par le vent, use les blocs. Je n'ai pas eu le temps d'en éclaircir l'origine. Peut-être est-il

venu du Sud, par exemple de l'estran. Peut-être au contraire, le vent dominant du NNE l'a-t-il enlevé en surface dans le Nord du sandur et peu à peu poussé vers le Sud. Mais en tout état de cause, c'est lui qui est responsable de l'usure éolienne.

3.^o — *Accumulation éolienne locale de sables et de menus graviers à éléments volcaniques.* — Les flancs des petites dépressions ou des abrupts de rivières, ravins secs, ou falaise marine, qui entament le Skógasandur, portent quelques placages de sable éolien avec ondulations larges de 50 cm. distantes de 0,5 à 1 m. passant parfois à des rides de gravier. Celles-ci se voient bien à 2 Km. environ au SSW d'Ytri Sólheimar. Là, elles cessent au voisinage de la petite rivière Husà ; elles n'existent qu'aux endroits où les blocs sont rares : blocs de 20 cm. distants de 5 à 10 mètres en moyenne. Elles sont hautes de 0,5 à 1,5 m., distantes de 2 à 10 m., longues de 5 à 40 m., toutes orientées parallèlement, vers l'ESE, indépendamment de la pente du terrain ; tracé planimétrique onduleux ; maximum d'altitude là où la courbure planimétrique est maximum. Pente des versants, environ 10° - 15° vers le NNE (vers la terre), 15° - 20° vers le SSW (vers la mer). Longueur moyenne des cailloux accumulés : 2 cm. Longueur maximum : 4 cm. pour les basaltes compacts gris-clair ; 5 cm. pour les basaltes vacuolaires noirs. Les cailloux approchant de cette longueur maximum sont rares, distants de 20 cm. environ. Les cailloux noirs, vacuolaires, sont plus abondants sur le versant abrupt, les cailloux clairs, compacts, sur le sommet et sur le versant doux. D'après leurs caractères, ces rides paraissent bien plutôt édifiées par le vent que par la solifluxion ; mais provisoirement la question, ne nous semble pas complètement tranchée.

Age des actions éoliennes au Skógasandur. — Celles dont nous voyons la marque ont commencé postérieurement à l'accumulation des ponces formant la masse du delta, c. a. d. à une époque très récente du Quaternaire ; elles ont encore lieu à l'époque actuelle.

Conclusion.—L'exemple du Skógasandur a l'avantage de nous montrer, sur matériel volcanique, toutes les transitions entre des marques d'action éolienne typiques et accentuées (au Sud) et les tout premiers indices d'action de vent (au Nord). Ceux-ci sont, dans l'ordre d'apparition :

1.^o Déflation, sable enlevé en surface.

2.^o Dessus des galets et blocs luisants. Gros blocs un peu déchaussés. Disparition de la végétation. Début de l'accumulation de sables éoliens.

3.^o Les faces des blocs sont aplanies.

4.^o Apparition des formes d'érosion éolienne typiques des galets et blocs (voir leur description 2 pages ci-dessus et au chapitre I, Hraun).

Appliquons maintenant à d'autres localités les critères (4^o) et indices (3^o, 2^o, 1^o) ainsi reconnus.

2. — Localités diverses

Nous les mentionnons dans l'ordre d'action éolienne (observée) croissante.

Environs de Hjalli. — Blocs basaltiques de 0,4 à 1 m, à faces souvent aplanies ; quelques uns avec traces de cupules. Action éolienne possible, non prouvée. Age : non actuel, un peu antérieur ; car les blocs sont emballés dans des limons d'où l'érosion actuelle les dégage à nouveau. Les limons sont néanmoins récents, car ils recouvrent les alluvions récentes de la vallée de l'Olfusà.

Rive ouest de la Skaftafellsà. — Dépôts actuels ou subactuels au pied du glacier Skaftafelljökull. Moraines : aucune trace d'action de vent. Anciens lits, actuellement à sec, de la Skaftafellsà : aucune trace d'usure éolienne ; blocs mats ; accumulations de sable éolien très rares, très petites, avec ripple-marks éoliennes. Le lit le plus ancien porte des mousses. Les autres lits et les moraines qui les séparent sont nus.

Lágafell. — A 12 Km à l'Est de Reykjavík. Végétation notable sur le roc en place-laves... etc., réduite à de très rares herbes sur les dépôts glaciaires. Ceux-ci ont été

décapés du sol qui les recouvrait ; le vent a enlevé en outre, en surface, le sable, mais non les galets (trop gros) ni l'argile (humide). Sur les faces supérieures et — partiellement — latérales des laves bulleuses, les vacuoles sont noires-luisantes. Sur de grands espaces, magnifiques sols striés de solifluxion.

Environs du Hvitárvatn et de Hveravellir. — Végétation notable sur les cendres volcaniques, sur les limons, et, jusqu'à une altitude de quelques mètres au-dessus du lac Hvitárvatn, sur les dépôts glaciaires qui forment la rive Sud du lac. Ailleurs, dépôts glaciaires à peu près nus ; déflation intense ; blocs basaltiques déchaussés, luisants. Entre Innriskuti et le Hvitárvatn, nombreuses accumulations de sable à grains volcaniques de 1 mm environ. Elles sont en général groupées, distantes de 1 à 20 m, et fixées par des touffes de Salix nains. Leur hauteur va de 0,2 à 0,5 m, leur longueur de 0,75 à 1,50 m. Dans les dépressions de terrain, elles peuvent même atteindre 1 m de haut et 3 m de long. Quelquefois, elles sont à l'ombre d'un gros bloc. En général, elles sont plus abondantes là où les blocs de 0,3 m et plus sont plus rares, et aussi sur les versants des petits thalwegs larges de 5 à 40 m, qui sont un peu à l'abri du vent. Elles sont souvent mangées par le vent d'un côté, nourries par lui de l'autre.

Thjórsárdalur. — Rive droite de la Thjórsà, au NE d'Ásolfstadir. Déflation. Petits galets de basalte à faces luisantes, aplanies ; arêtes un peu régularisées ; S. Pl. VI, fig. 3. Galets de scorie à dessous mat, gris ; dessus très luisant, noir. Petites accumulations, passant aux rides de cendres et ponces déjà signalées (ci-dessus III, et Pl. III, fig. 1).

Myrdalssandur. — Delta fluvioglaciaire actuel. Pas de végétation. Au Nord-Ouest, près d'Engimyri, sur la rive droite du Sandvatn, accumulation éolienne. Au Nord, le long de la piste qui, de Hafursey, se dirige vers le Nord-Est, petites ondulations présumées éoliennes, distantes de 50 cm ; déflation ; galets basaltiques luisants ; certains ont leurs faces aplanies. Ainsi, la partie Nord du Myrdalssandur

ressemble tout à fait à la partie Nord du Skógasandur. Je n'ai malheureusement pas pu, faute de temps, contrôler si la partie Sud du Myrdalssandur porte, comme celle du Skógasandur, des blocs éoliens typiques ; en tout cas, la carte topographique (Blad 69) signale, dans la moitié Sud-Est, des dunes dont une partie empâte une coulée de laves.

Skeldararsandur. — Le plus grand delta fluvio-glaciaire actuel. Région observée : le Nord, le long de la piste reliant Kalfafell à Skaftafell. Dans la moitié Est, petite végétation de mousse ; aucun galet brillant ; près des lits des petites rivières qui descendent du glacier, ripple-marks éoliennes ; dans les entonnoirs profonds de 2 à 8 m. laissés par la fonte des énormes blocs de glace qu'entraînent les débâcles consécutives aux éruptions, accumulation de sable éolien, principalement fait de cendre volcanique noire à grains de 1 mm environ ; dessus, touffes d'herbes, notamment de graminées xérophytes.

A l'extrémité Nord-Ouest, sur la rive droite du fleuve, la surface du sandur est soumise à une intense déflation ; pas de végétation ; les galets de lave sont brillants et présentent des faces aplanies ; sur les galets de lave bulleuse, usure en cupules allongées nettement orientées vers le NNE (ou le SSW ; sens malheureusement non noté). Tout à côté, à un niveau un peu plus bas, sur le lit majeur du fleuve, les galets ont un aspect totalement différent ; ils sont mats, arrondis, comme il est de règle pour les galets fluviaux ; tout au plus observe-t-on un petit placage de sable éolien, sans végétation, avec ripple-marks distantes de 15 à 20 cm.

Ici encore, il est possible que dans les parties plus méridionales du sandur où je n'ai pu aller, on découvre des galets éoliens typiques ; la carte topographique (Bl. 77, 78, 87, 88) y mentionne des dunes.

Kirkjubæjarklaustur. — Au bord de la rivière Skaptà, dunes atteignent 2 m de haut, portant quelques touffes d'herbes. Sur le sandur, les blocs de lave de 10 à 30 cm ont la face inférieure toujours fraîche, non usée, la face supérieure quelquefois usée, lisse ; l'un d'eux portait une

ébauche d'arête et, sur l'une des faces, une striation éolienne.

Est de l'Hekla. — Un fragment de lave de cette région, conservé à l'Université de Stockholm, présente des cupules et des stries éoliennes.

3. — Gunnarsholt

Disposition générale. — Au voisinage de Gunnarsholt s'étendent deux anciens complexes fluvio-glaciaires à matériel volcanique, le Helluvadsandur et le Geitasandur. Leur surface presque horizontale (pente 3:1000) est parsemée de galets dont la taille ne dépasse pas, au Sud, 15 cm. (Helluvassandur) ou 25 (Geitasandur) et croît légèrement vers le Nord-Est. Près de leur limite Nord Est, les deux sandurs se relèvent et passent à des remparts morainiques, bien visibles sur le Helluvadsandur, et parsemés de blocs atteignant 1 à 3 m. - 90 % des blocs et galets sont en lave basaltique compacte, 10 % en lave caverneuse noire ; celle-ci est plus abondante (20 à 25 %) parmi les galets petits, mesurant 5 à 10 cm. Si on déterre de petits galets, on voit que beaucoup d'entre eux sont dressés (solifluxion ? cf. l.it. 2). Une coulée de lave chaotique descendue du massif de l'Hekla, est venue se figer sur le bord Nord du rempart morainique.

Les deux sandurs ont été anciennement couverts de limons qui, au cours des derniers siècles, ont été érodés par le vent. La végétation est encore à peu près totalement absente du Geitasandur ; grâce à des travaux de défense, elle reprend déjà pied sur le Helluvadsandur.

Nous avons signalé plus haut l'action du vent sur les laves de Gunnarsholt (I) sur les cendres volcaniques qui les recouvrent (II) et enfin sur les limons (III A). Examinons maintenant son action sur le matériel volcanique repris à l'état de blocs, galets ou grains dans les sandurs.

Déflation. — Le sable, présent en profondeur, a été enlevé en surface. D'où un paysage analogue au Reg Saharien : Pl. II, Fig. 2.

Accumulation. — Sur le Helluvadsandur, petites accumulations de poussière volcanique au pied des touffes d'herbes éparses. A 1 Km. à l'Ouest de la ferme de Gunnarsholt, dans un fond marécageux, dunes hautes de 1 m, distantes de 2 à 4 m, portant une végétation d'*Elymus arenarius*.

Sur le Geitasandur, buttes de sable éolien atteignant 20 cm. de haut et 60 cm. de diamètre. La majorité des

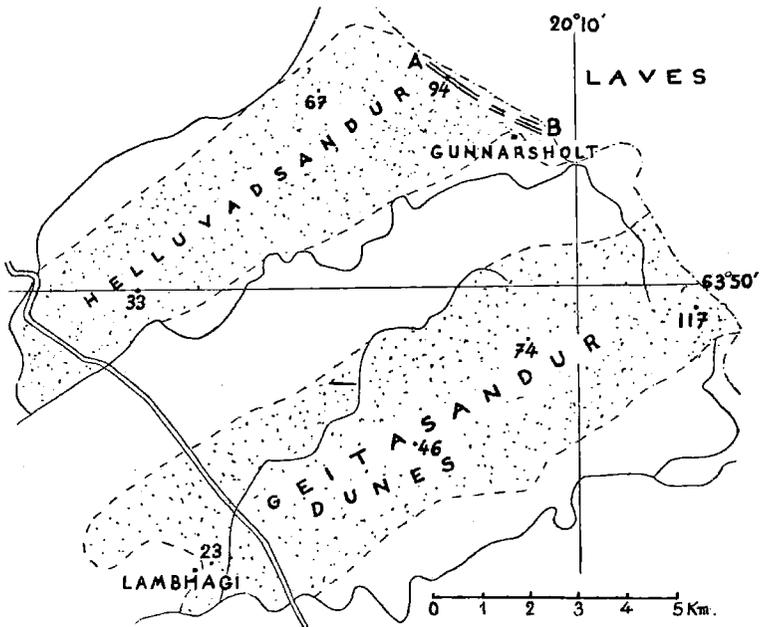


Fig. 7. — Carte des environs de Gunnarsholt. --

Pointillé, partie dénudée des sandurs. Trait interrompu, leur limite. Trait plein simple, rivières; double, grand-route. Traits et points, limite Sud des laves. AB, remparts morainiques. Altitudes en mètres.

Sketch map of neighbourhood of Gunnarsholt. — Dotted areas, bare parts of sandurs. Dashed lines, their contours. Single full lines, rivers; double one, main road. Dashed line with points, Southern boundary of lavas. AB, morainic accumulations. Altitudes in meters.

grains est faite de menus fragments de verre volcanique; quelques uns sont des débris de cristaux d'olivine, augite et plagioclases (détermination de A. VATAN).

Dans les dépressions humides, dunes atteignant 5 à 8 m. de haut, figurées sur la carte topographique (Bl. 48), faites de menus fragments volcaniques (Scories... etc.) dont la longueur moyenne va de 0,5 à 1 cm. et la longueur maximum de 3 à 4 cm. J'ai montré (Lit. 2) que les grandes longueurs des fragments, surtout celles des plus grands, sont orientées en majorité suivant une direction dominante, E 70° S, qui est, ici comme ailleurs, perpendiculaire aux vents les plus violents, ici N 60° E.

Enfin, à l'Est de la ferme de Gunnarsholt contre le front des laves, placage épais de sable éolien; une source y prend naissance. (Pl. V, Fig. 10).

Usure. — Sur beaucoup de blocs et de gros galets basaltiques des remparts morainiques, l'usure éolienne est très typique, surtout sur les plus saillants et sur les plus haut situés. Au Sud, elle est encore nette sur le Geitasandur à la hauteur de Lambhagi, tandis que sur le Helvadsandur elle se réduit, pour des galets de même taille, à un simple éclat luisant. Précisons les principaux caractères de cette usure.

Arêtes. — Cf. Pl. IV, Fig. 1 et Pl. VI Fig. 2 Elles ont tous les caractères des arêtes éoliennes: tracé non en ligne brisée, mais rectiligne ou un peu sinueux; dans le plan perpendiculaire aux faces, rayon de courbure petit, voisin de 1 mm.; angle dièdre des faces grand, voisin de 120°. Observées successivement, sur le terrain, elles paraissent orientées en tous sens; mais sur des dessins orientés, exécutés d'après nature, et observés ensuite simultanément, une orientation dominante, mais non exclusive, apparaît (Fig. 8). Elle est E 60° S, perpendiculaire au vent dominant, ici N 60° E. Son existence confirme le fait, établi par ailleurs par voie expérimentale, que le vent ne se borne pas à façonner les cassures ou arêtes préexistantes, mais qu'il est capable d'en faire apparaître de nouvelles.

Usure différentielle. — Bien visible sur les tufs palagonitiques en place (Geitasandur, Nord) ou en galets. Cf. Pl. VII, Fig. 1: strates tendres fortement creusées.

Le burinage éolien met souvent en relief dans les laves, une hétérogénéité de texture, par exemple une fluidité. Cf. Pl. IV, Fig. 2. Ce cas nous conduit à celui des

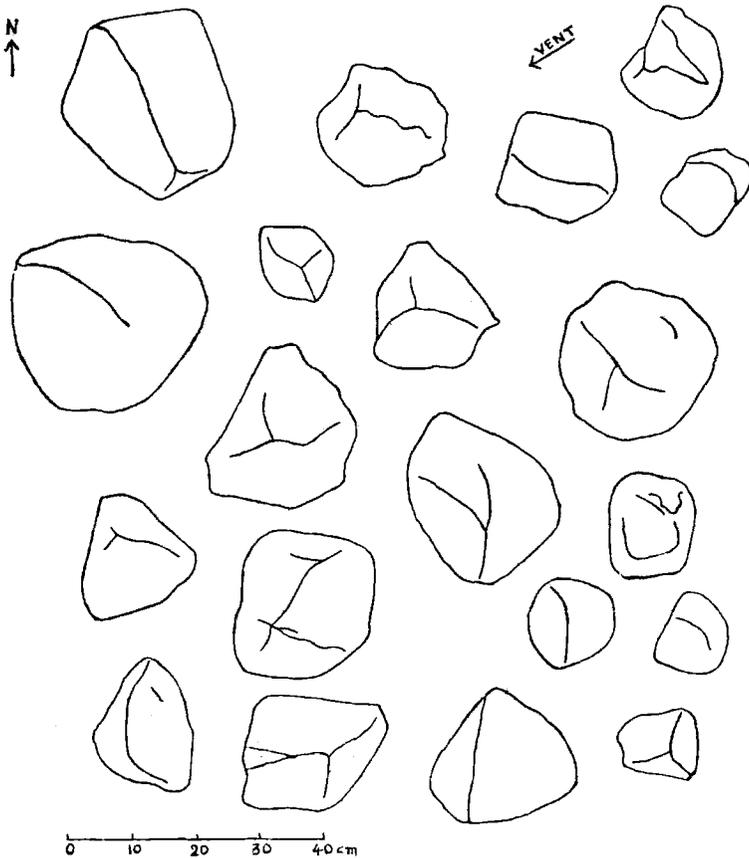


Fig. 8. — Orientation commune de la majorité des arêtes éoliennes perpendiculairement au vent dominant (flèche).

Gunnarsholt, galets basaltiques façonnés par le vent. Dessins orientés exécutés sur le terrain, puis juxtaposés.

Common orientation of most of eolian edges at right angles to the prevailing wind (arrow).

Gunnarsholt, wind-worn basaltic pebbles. Field-sketches, drawn with orientation, and then set in juxtaposition.

cupules longues de 2 à 30 mm., larges de 1 à 10 mm., fréquentes sur les laves un peu hétérogènes.

Allongement des cupules. — Sur une même face, les cupules éoliennes, comme d'ailleurs les bulles préexistantes de la lave, sont en général allongées parallèlement les unes aux autres. J'ai mesuré, sur une série de galets cupulés pris au hasard l'angle entre la direction d'allongement des cupules éoliennes, sur la face supérieure et celle des bulles originelles de la lave sur la face inférieure du même galet. Cet angle s'est trouvé 8 fois inférieur à 45° , 5 fois supérieur à 45° . Il semble que l'allongement des cupules éoliennes soit dû davantage à l'influence directrice du vent qu'à celle des bulles préexistantes de lave.

Effectivement, sur le terrain ou sur dessins orientés d'après nature, fig. 9, on voit que les cupules éoliennes des blocs de 14 à 26 cm. sont orientées en moyenne N 60° E, c. a. d. parallèlement au vent dominant, ici N 60° E.

Sens des cupules. — On voit sur mes échantillons (Pl. VII, Fig. 2) que les cupules ont non seulement une direction, mais un sens; souvent, l'un de leurs bouts est plus étroit et surtout plus creux; la cupule est alors en forme de spatule. Toutes les cupules spatulées d'une même face ont leur bout creux du même côté (Pl. VII, Fig. 2); j'ai pu établir depuis, sur un autre matériel, (cailloux éolisés rapportés par DE GEER du Spitzberg) que ce côté plus creux coïncide avec l'amont du vent.

Retournement — Ici, comme au Skógasandur, j'ai retourné les galets de lave bulleuse dont la face supérieure était luisante, usée par le vent, et j'ai noté si la face inférieure était luisante ou mate, c. a. d. si au cours de son façonnement éolien, le galet avait été retourné, ou non. La fig. 10 montre que la proportion des galets usés sur les 2 faces, c. a. d. ayant été retournés, décroît rapidement quand la longueur des galets augmente; (voir aussi Pl. VIII, Fig. 1 et 2); elle est moins forte pour les galets situés au voisinage immédiat de galets plus gros que pour les galets en plein vent; elle est moins forte au Sud qu'au Nord du Helluvadsandur, peut-être parce qu'au Sud le limon protecteur a persisté plus longtemps. Dans les trois cas étudiés ici, l'agent de retournement peut être: Vent

(probable). Pas de l'homme ou des animaux (peu important). Solifluxion (peu probable).

Agè. — Sur les sandurs de Gunnarsholt, l'action du vent s'exerce évidemment à l'époque actuelle. Mais le

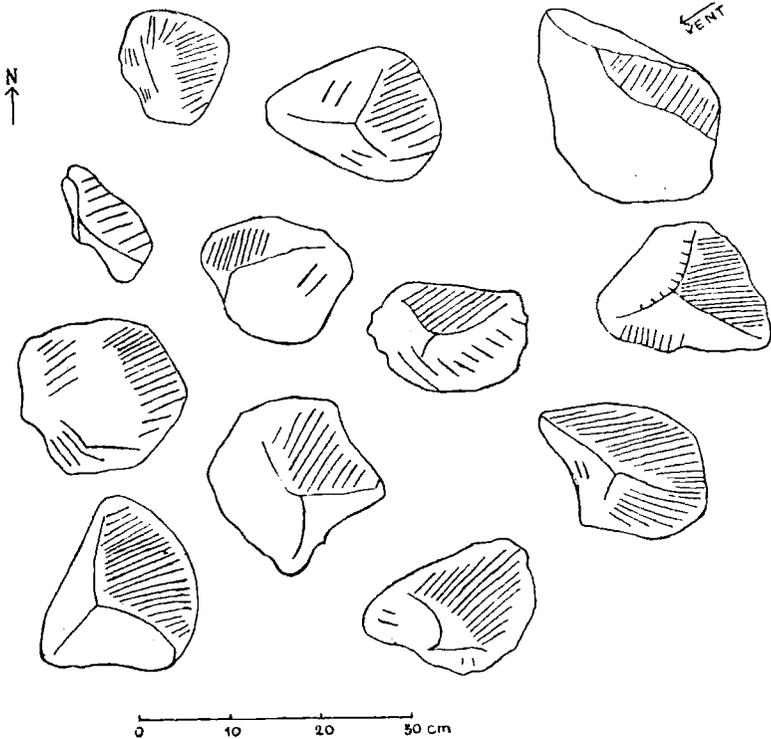


Fig. 9. — Orientation commune, parallèlement au vent dominant (flèche) des cupules éoliennes (hachures).

Noter leur localisation fréquente sur la face au vent. -- Gunnarsholt, galets basaltiques façonnés par le vent. Dessins orientés exécutés sur le terrain, puis juxtaposés.

Common orientation, parallel to the prevailing wind (arrow), of the eolian cupules (hatching).

Notice their frequent localisation upon wind-ward faces. -- Gunnarsholt, wind-worn basaltic pebbles. Field-sketches, drawn with orientation, and then set in juxtaposition.

façonnement si poussé des blocs de la région Nord implique une ablation de matière qui n'a pu se faire au cours des 200 ans qu'a duré l'actuelle dénudation. D'autres con-

sidérations, qui sortiraient du cadre de cette étude, conduisent aussi à penser que les beaux blocs éolisés ont été façonnés par le vent pendant la période qui a suivi l'édi-

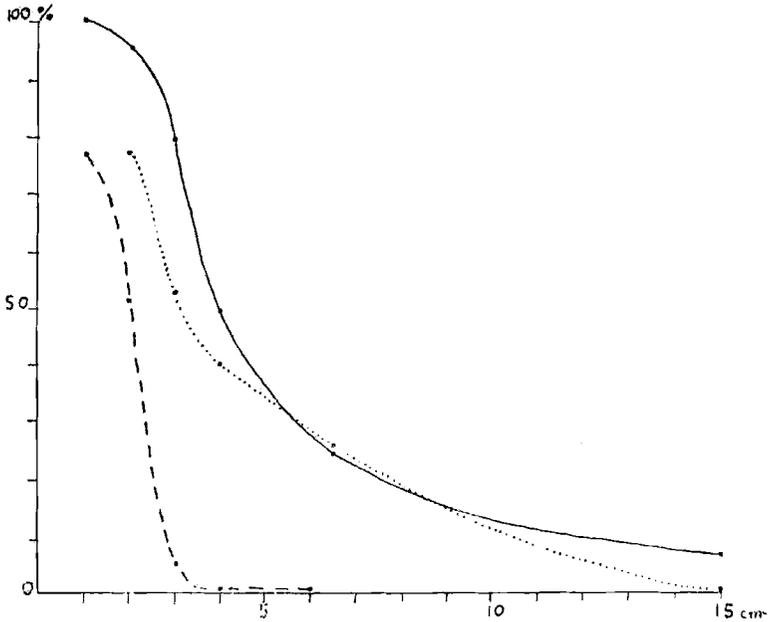


Fig. 10. — Courbes montrant la variation, en fonction de la taille, de la proportion des galets de scories usés par le vent sur leurs deux faces (dessus et dessous), c. à d. ayant été retournés au cours de leur usure.

Le pourcentage (ordonnées) diminue rapidement lorsque la taille des galets (en cm; abscisses) augmente. -- Gunnarsholt. Trait plein, région Nord, galets exposés en plein vent. Très retournés. Pointillé, même région, galets abrités du vent par de plus gros galets voisins. Moins retournés. Trait interrompu, région Sud, galets en plein vent, ici beaucoup moins retournés.

Curves showing variation, in connection with size, of the percentage of scoriaeous pebbles worn by the wind on both upper and lower faces, having been turned upside-down during wearing.

Percentage (ordinates) decreases fast when size of pebbles (in cm.; abscisses) increases. -- Gunnarsholt. Full line, Northern part, pebbles fully exposed to the wind. Much turned upside-down. Dotted line, same region, pebbles sheltered from the wind, in the vicinity of larger ones. Less turned upside-down. Dashed line, southern part, pebbles fully exposed to the wind, here much less turned upside-down.

fication du sandur; ils ont été ensuite ensevelis sous les limons; et l'érosion actuelle s'est probablement bornée à dégager et rajeunir ces formes éoliennes fossiles.

4. — Conclusion

L'action du vent sur le matériel fluvioglacière est intense, plus intense que sur les laves. Le matériel volcanique fin peut s'accumuler en rides et dunes, petites certes, mais très variées de caractère, et dont la formation est favorisée par une végétation spéciale (*Elymus arenarius*, *Salix nains*) et par la proximité du niveau hydrostatique. Sur le Matériel volcanique grossier, blocs et galets basaltiques compacts ou bulleux, et tufs, on voit tous les stades d'une usure éolienne croissante, jusqu'aux formes les plus typiques.

C. — Grains volcaniques repris dans les formations marines

Principales localités :

Cap Portland. — Cf. ROBERT, Lit. 22, p. 241.

Au pied de la falaise, vers le Sud Ouest, dune de sable volcanique s'élevant jusqu'à 300 pieds (100 mètres).

Entre l'embouchure du Hvitá et Thorlakshöfn. — Ibid. p. 205. « Dunes élevées formées d'un sable noir basaltique ». Avec *Festuca arenaria*.

Hafnarfjörður. — Ibid. p. 81.

Fossvogur. — Ibid. p. 59.

De Stadastadur à Budir. — Ibid. p. 75. Dunes coquillères (pour mémoire).

Patrjxjford. — Cf. JARDIN, Lit. 8, p. 14. Placage éolien de sable coquiller et non pas, comme l'ont écrit certains auteurs, quartzeux ou micacé (pour mémoire).

Hraun — Voir la description détaillée au début de la présente étude.

Vik. — Observations personnelles. Au pied des hautes falaises verticales rocheuses faites de palagonite, le sable accumulé par la mer, composé de fins éléments volcaniques

minéraux et verre, forme un raptat large de 100 à 300 mètres, avec ondulations éoliennes distantes de 50 cm., surtout belles au voisinage de la mer. Le vent accumule le sable contre la falaise, jusqu'à 15 ou 20 mètres de hauteur. Ce placage est dépourvu de végétation là où l'apport sableux persiste actuellement ; il porte au contraire un peu d'herbe vers l'Est, où une nappe d'eau allongée dans une dépression étroite, juste au pied de la falaise, arrête l'apport sableux.

V. — Conclusions générales.

A. — Modes d'action du vent

L'action du vent est très importante en Islande. Elle se manifeste par divers ordres de phénomènes :

1. — *Déflation*. — Enlèvement par le vent des fines particules des cendres volcaniques et des dépôts sédimentaires meubles. Dans l'un et l'autre cas, elles consistent en menus fragments d'origine volcanique, minéraux — olivine, augite, plagioclases, — et verre.

2. — *Accumulation*. — Le même matériel, emporté par le vent, est accumulé plus loin. Les parties les plus fines, de 0,01 à 0,1 mm., forment, conjointement avec quelques lits de cendres qui s'y intercalent, le manteau de limons qui recouvre une grande partie de l'île. Les particules plus grossières, sables et graviers de 1 à 30 mm., sont amoncelées par le vent en rides et dunes.

3. — *Usure* — Le matériel usant est constitué par les menues particules volcaniques entraînées par le vent. Sous leur action, les galets, blocs et roches en place sont fortement usés. Les parties dures des tufs sont mises en relief. Les basaltes prennent les formes de galets à facettes typiques ; l'usure éolienne souligne souvent l'hétérogénéité de leur texture.

B. — Age

Ces actions de vent se sont exercées, non seulement depuis l'époque historique, mais aussi antérieurement, entre

autres au Quaternaire récent (Gunnarsholt pro parte). Niels NIELSEN (Lit. 15 et 16.) a même décrit dans la « palagonite », d'âge Quaternaire ancien, des limons présumés éoliens.

C. — Genèse

La coexistence, en Islande, d'un climat humide avec des actions éoliennes intenses n'a rien qui doive choquer; elle est commune dans les pays arctiques. Action de vent n'implique donc pas nécessairement sécheresse, mais absence de couvert végétal. Les causes naturelles qui font obstacle à la végétation en Islande sont principalement liées au climat rigoureux : froid intense, grand vent. C'est avant tout à sa latitude élevée et à ses glaciers que l'Islande doit d'être le siège d'intenses actions de vent.

D. — Rapports de l'action du vent avec les phénomènes volcaniques

Le volcanisme favorise l'action du vent par l'abondant apport de matériel, et notamment de matériel fin, qu'il lui fournit.

Sans doute avons-nous vu que, dans l'ensemble, les formes de déflation accumulation et usure éoliennes sont les mêmes en Islande sur matériel volcanique, qu'ailleurs sur des matériels différents. Néanmoins, elles doivent à la nature volcanique du matériel constituant quelques-unes de leurs particularités : faible cohésion et perméabilité des limons; évasement des alvéoles et mise en évidence de l'hétérogénéité de texture des blocs basaltiques.

Summary

Wind-action upon volcanic material is very strong in Iceland.

I. — Wind-action upon basaltic lava-streams

At Hraun, the sea-shore sand, made of fine volcanic particles, is at present driven away by the wind against a recent ropy lava; vegetation is almost missing. Along the sea-shore the sand forms living dunes. Towards the inland, it has been accumulated between the lava-bubbles and even between the sides of the fractures of the lava (Pl. I, Fig. 1). The lava-fragments (Pl. I, Fig. 2.) are distinctly wind-worn; the following characters distinguish them from water-worn pebbles or freshly broken, not worn fragments. About 2 or 3 smooth, flat or slightly undulated faces. Between them, the edges are neither quite sharp nor much blunted, nor in a broken-line, but straight or gently sinuous, a little blunted and hence smooth but yet apparent. Only on the upper surface of each fragment, the hollows of the lava are distinctly widened, worn, and their edges smoothed. The *in situ* lava surfaces are also bare, smoothed, flat or slightly undulated (Pl. I, Fig. 1.) and their ropy aspect has been scoured. All these effects of wind-wearing, as well as sand-accumulations and scarcity of vegetation, decrease towards the North, where, finally, no sand is present, plant-covering is normal and the lava-surface is still fresh, ropy and, like the lava-fragments, not yet worn.

In the other lava-fields studied: Merkurhraun, neighbourhood of Myrdalssandur, Gunnarsholt, Hveravellir, the facts are quite different. One finds only little eolian accumulations of sand or ashes. The lava-surface is devoid of any trace of wind-action, and it contrasts with the neighbouring bare detritical sedimentary formations by the presence of a plant-covering, which seems to have preserved the lava from wind-wearing.

At Hraun, the exceptional wind-wearing seems to be bound to the great abundance of sand, the flatness of the lava-surface, and above all the weakness of vegetation, here especially thwarted by the rough littoral conditions.

II. — Wind-action upon volcanic tuffs and pyroclastic material of consolidated sedimentary formations

In the « palagonitic » tuffs, softer stratas are carved by the wind (Pl. VII, Fig. 1.), and harder parts are protruding out (Pl. III, Fig. 2.).

III. — Wind-action upon ashes and lapillis

The Merkurhraun is scattered with little dunes of volcanic ashes, 1 to 4 meters high.

West of Burfell, the wind has blown away the fine volcanic dust. It is not certain that the sorting of the remaining coarser material (Pl. III, Fig. 1.) is produced by the wind; perhaps here solifluxion (freezing and thawing... etc.) had its effect. Stones a little worn by the wind (Pl. VI, Fig. 3.).

Near Gunnarsholt, in some places, ashes are heaped in dunes 1 to 4 meters high. In other places, they are lifted up by the wind; material is sorted.

At Hveravellir, the wind rehands together an ash-layer and fluvioglacial deposits (Text-Fig. 2).

Summing up, the wind-action upon ashes and lapillis is more frequent in Iceland than in other countries probably because the existence of vegetation-covering is checked by the roughness of the climate. Its importance is also due to the abundance of projections so characteristic of Icelandic volcanism.

IV. — Wind-action upon boulders, pebbles and grains of volcanic material rehanded in the loose sedimentary formations

A. *Loams*. — All Icelandic soils are made of very fine varied volcanic wind-accumulated particles, with small layers of volcanic ashes.

Under wind-action, the basic volcanic material of Iceland assumes the same forms of accumulation (mantle-like)

and erosion (steep walls, kinds of yardangs) as the continental loess, made of quartz and limestone. Hence, such forms are less connected with the nature and density of constituent particles than with their very small size.

The distinctive characters of Icelandic soils are bound up, some of them (great permeability, little coherence) with the volcanic nature of the material, the others (great speed of deposition) with the strong supply of fine particles afforded by the Icelandic volcanism.

B. *Fluviatil and glacial formations.* — *The Skógasandur*, recent, large bare delta formation (Text. Fig. 3) made of volcanic pumice and blocks of basalt and tuff, shows from North to South increasing traces and signs of wind-action, which are successively :

1.^o Sand is blown away from the surface.

2.^o Upper part of boulders is shiny. Lower part of greater blocks is eroded (Text. Fig. 4). No more vegetation. Beginning of sand-accumulations. Curious wind-formed sand-ridges.

3.^o Faces of boulders are flattened.

4.^o Wind-worn boulders as typical as at Hraun : Pl. III, Fig. 2, and Pl. VI, Fig. 1.

Statistics show (Text. Fig. 5) that only the smallest pebbles, beneath 5-10 cm., may be usually turned upside down (by the wind... etc.).

Following localities show increasing signs of eolian action : Hjalli, Skaftafell, Lågafell, Hvitarnvatn, Thjòrsárdalur, North of Myrdalssandur and Skeidararsandur, Kirkjubæjarklaustur, region East of volcano Hekla, Gunnarsholt.

At *Gunnarsholt* (Text. Fig. 7) we may observe deflation (Pl. II, Fig. 2.) ; sand-accumulations (Pl. V, Fig. 2.) ; dunes 5 to 8 meters high ; beautiful wind-worn stones (Pl. IV, Fig. 1 and 2, Pl. VI, Fig. 2, Pl. VII, Fig. 1, 2, Pl. VIII, Fig. 1, 2) ; yardangs (Pl. V, Fig. 1). Field observation, together with statistics, show that on wind-worn stones :

a) The edges (Text. Fig. 8), are a little more often at right angles to the prevailing North-East wind-direction.

b) On the dunes, the great length of the wind-accumulated larger pebbles is more often at right angles to the prevailing North-East wind-direction.

c) The lengthened spatula-shaped cupules are mostly directed parallel to the same wind-direction, and their deeper end is always windward (Text. Fig. 9 and Pl. VII, Fig. 2.).

d) Only the smallest pebbles may be turned upside-down, by the wind... etc. (Text. Fig. 10, and Pl. VIII, Fig. 2.).

C. *Marine deposits.* — The volcanic shore-sand can be driven by the wind against the shore-cliffs (Vík) or into sand-dunes (Hraun).

Conclusions

In Iceland, wind-action is very strong. It has acted, almost every-where, upon volcanic material. It is marked by deflation and accumulation of finer particles, like ashes, and typical wearing of larger stones, like blocks of basalt and tuff. It has acted not only at the present time, but also during the recent and ancient Quaternary. Like in many other arctic regions, it is less connected with aridity, but than with the absence of vegetation-covering caused by the roughness of the climate (cold; strong wind). It is favoured by the great abundance of material supplied by the Icelandic volcanism.

OUVRAGES CONSULTÉS

- (1) BJARNASSON, Hákon. — *Thiðrsárdalur*, Ársrit Skógraektarfjells Islands, 1937, p. 5 à 36, 1 fig., 4 cartes. English summary, Reykjavík.
- (2) CAILLEUX, André. — *La disposition individuelle des galets dans les formations détritiques.* Rev. Géogr. Ph. et Géol. Dyn., T. XI, p. 171 - 198, Paris, 1938.
- (3) EMILSSON, Steinn. — *Lössbildung auf Island.* Vísindafjélag Íslendiga, XI, p. 1 à 19, 2 fig., Reykjavík, 1931.

- (4) EMILSSON, Steinn. — *Beiträge zur Geologie Islands*. Centralblatt f. Min. etc., 1929, B. 1.
- (5) GRÜNER. — *Die Bodenkultur Islands*. Archiv für Biontologie, III, 2, Berlin, 1912.
- (6) HARDER, Paul. — *Virkninger af Feyvesand. Nogle Jagttagelser fra Island*. Medd. Dansk Geol. För. Bd. 3. Kobenhavn, 1907-1911.
- (7) JWAN, Walter. — *Island*. Geograph. Arb. der Univ. Berlin, H. 7, Engelhorn's édit. Stuttgart, 1935, 155 pp., 101 fig., biblio. Cf. p. 60, 61, 62, 107.
- (8) JARDIN, Edelestan. — *Voyage géologique autour de l'Islande*. Bull. Soc. Acad. Lefournier édit., Paris.
- (9) KEILHACK F. L. H. Konrad — *Vergleichende Beobachtungen an isländischen Gletscher- und norddeutschen Diluvial.-Ablagerungen*. Jahrb. Preuss. geol. Landesanst. 1883, p. 172-173, pl. XIX, 1884.
- (10) KNEBEL W. von und RECK H. — *Island, eine Naturwissenschaftliche Studie*. Nägele edit, 1912, 290 pp., 30 fig., 28 pl., 1 carte.
- (11) KOFOED-HANSEN A. F. — *Om Lössjords Forhold til Skovvegetation*. Skogsvardsför. Tidskrift, H. 11-12, Stockholm, 1922.
- (12) NEHRING A. — *Über Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit... etc*. Berlin, 1890.
- (13) NIELSEN, Niels. — *Landskabet Syd-ost for Hofsjökull i det indre Island*. Geogr. Tidskr. Kobenhavn, 1928.
- (14) NIELSEN, Niels. — *Contribution to the physiography of Iceland*. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrift. Naturvid. og Mathem. Afd. 9, IV, 5, p. 183-288, 6 fig., 32 pl., 9 cartes, Kobenhavn, 1935, S. p. 245-251.
- (15) NIELSEN, Niels. — *Jagttagelser vedrørende den saakaldte Palagonitformation i Island*. Nordiska naturf. i Helsingfors. p. 414-420, Helsinki, 1936.
- (16) NIELSEN, Niels, og NOE-NYGAARD. Arne — *Om den islandske Palagonitformations Oprindelse*. Geogr. Tidskrift, 39, 2, p. 3-36, 13 fig. Kobenhavn, dec. 1936, Cf. p. 11.
- (17) PJETURSS, Helgi. — *Om Islands Geologi*, Kobenhavn, 1905.
- (18) PJETURSS, Helgi. — *Island Handbuch der regionalen Geologie*, H. 2, 1910.
- (19) PJETURSS, Helgi. — *Fundamentals of Icelandic Geology*, Idunn, Reykyavik, 1927.

- (20) PRYTZ, C. V. — *Lidt om Traevæksten paa Island*. Geogr. Tidskr. Bd. 17, p. 238-241, København, 1901-1904.
- (21) PRYTZ C. V. — *Skovdyrkning paa Island*. Tidskr. f. Skovvaesen, XVII, p. 27, København, 1905.
- (22) ROBERT. — *Voyage en Islande et au Groenland*. 1 vol. Bertrand édit. Paris, 1840.
- (23) SAMUELSSON, Carl. — *Nagra studier över erosions-företeelserna pa Island*. Ymer, Tidskr. f. Antrop. och. Geogr. 3.4, p. 340-355, Stockholm, 1925.
- (24) SAMUELSSON, Carl. — *Studien über die Wirkungen des Windes in den kalten und gemässigten Erdteilen*. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, XX, p. 1-230.
- (25) SAPPER, Karl. — *Die Bedeutung des Windes auf Island*. Aus der Natur, 5, p. 1-16, Leipzig, 1909.
- (26) SPETHMANN, Hans. — *Islands grösster Vulkan*, p. 1-143, 36 fig. von Veit edit. Leipzig, 1913. Cf. p. 47-49.
- (27) THORKESSON. — *Volcanic eruptions in Iceland, 1922*. Visindafélag Islendinga, Reykyavík, 1923.
- (28) THORODDSEN, Thorvaldur — *Island, Grundriss der Geographie und Geologie, Ergänzungsheft. 152-153*. Pet. Mitt. Gotha 1905-1906. Cf. p. 14.
- (29) THORODDSEN, Thorvaldur. — *Vulkanen Katla og dens sidste Udbrud*. Geogr. Tidskr. p. 120-135, København, 1920.
- (30) THORODDSEN, Thorvaldur. — *An account of the physical geography of Iceland... etc*. The botany of Iceland, vol. I, part. 1-2, p. 187-343, København, 1914.
- (31) TRAUTZ, Max. — *Im Nordrand des Vatnajökull im Hochland von Island*. Pet. Mitt., 65, p. 121, Gotha 1919.
- (32) WEGENER, A. — *Staubwirbel auf Island*. Meteor. Zeit. 1914.
-

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Sud de Hraun. Décapage par le vent d'une lave récente fracturée et dénudée. Les faces de la fracture ont été érodées et émoussées. Crête saillante. Remplissage de sable éolien.

South of Hraun. Wind-scouring of a recent bare broken lava. The faces of the fracture have been eroded and blunted. Protruding ridge. Eolian sand-filling.



Fig. 2. — Sud de Hraun. Fragments de lave façonnés par le vent chargé de sable. Faces planes. Arêtes. Alvéoles évasées.

South of Hraun. Lava fragments worn by the sand-driving wind. Flat faces. Edges. Widening holes.

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Ouest du Burfell. A l'horizon, petits volcans récents. Au 1 plan végétation. Pas d'action de vent.

West of Burfell. In the distance, small recent volcanoes. In the foreground, vegetation. No wind-action.



Fig. 2. — Gunnarsholt. Moraine à matériel fait de roches volcaniques. Le vent a enlevé les parties fines et façonné les blocs basaltiques: faces planes, arêtes.

Gunnarsholt. Boulder formation the material of which is made of volcanic rocks. The Wind has blown away the smallest particles and worn the basaltic rocks; flat faces, edges.

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Sud-ouest du Burfell. Au premier plan, rides alternantes de projections volcaniques fines (sombres) et grossières (claires). Genèse de ces rides douteuse: solifluxion (gel ou dégel) ou vent.

South-west of Burfell. At the foreground, alternating waving of fine (dark) and coarse (clear) volcanic projections. Origin of the waving is questionable: solifluxion (freezing and thawing) or wind.



Fig. 2. — Skógasandur. Bloc de "palagonite" (tuf). Le vent l'a décapé à la base et a mis en relief les éléments plus durs (galets).

Skógasandur. "Palagonitic" block (tuff). The wind has scoured its base and has set off the harder elements (pebbles).

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Gunnarsholt. Bloc de basalte façonné par le vent. Faces doucement onduleuses, très lisses; arêtes; burinage des parties plus tendres.

Gunnarsholt. Wind-worn basaltic block. Faces are smoothly curved; edges; carving of softer parts.



Fig. 2. — Gunnarsholt. Bloc de basalte façonné par le vent. Burinage mettant en relief l'hétérogénéité de texture, notamment en haut à gauche la fluidalité.

Gunnarsholt. Wind-worn basaltic block. The carving makes clear the heterogeneity of the texture, namely on the upper left the flow-structure

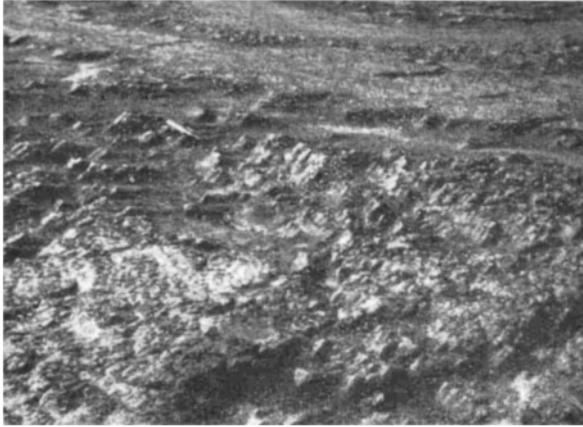
A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

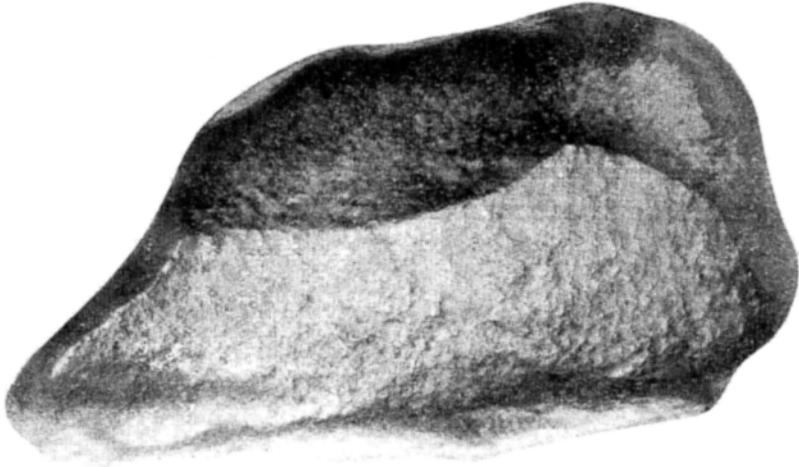
Fig. 1. — Gunnarsholt. Variété de yardangs. Erosion par le vent des accumulations de fines poussières volcaniques qui formaient le sol.

Gunnarsholt. Kinds of yardangs. Erosion by the wind of the accumulations of fine volcanic dust which formed the soil.



Fig. 2. — Gunnarsholt. Placage éolien de sable volcanique, noir, contre le front d'une coulée de laves récentes.

Gunnarsholt. Black volcanic sand accumulated by the wind against the front of a recent lava-stream.

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

1.

Fig. 1. — Skógasundur. Galet de basalte compact façonné par le vent. Arêtes nettes, à tracé sinueux. Faces planes dans l'ensemble, un peu vermiculées dans le détail. Grandeur naturelle.

Skógasundur. Wind-worn pebble of compact basalt. Distinct edges with sinuous outline. Each face is almost flat, but when closely observed it appears slightly vermicular. Natural size.



2.

Fig. 2. — Gunnarshólt. Galet de basalte compact façonné par le vent. Arêtes nettes. Faces planes. Grandeur naturelle.

Gunnarshólt. Wind-worn pebble of compact basalt. Distinct edges. Flat faces. Natural size.



3.

Fig. 3. — Ouest du Burfell. Eclat de basalte compact. Face droite — cassure encore fraîche. Face gauche déjà usée par le vent, un peu plus lisse. Grandeur naturelle.

West of Burfell. Compact basalt splinter. Right face: rough, fresh broken. Left face already wind-worn, a little smoother. Natural size.

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Gunnarsholt. Fragment de “palagonite”, (tuf stratifié) buriné par le vent. Strates tendres fortement creusées. $\times 1/2$.

Gunnarsholt. Wind-worn “palagonit”, (stratified tuff). Fragment. Softer stratas are strongly hollowed. $\times 1/2$.

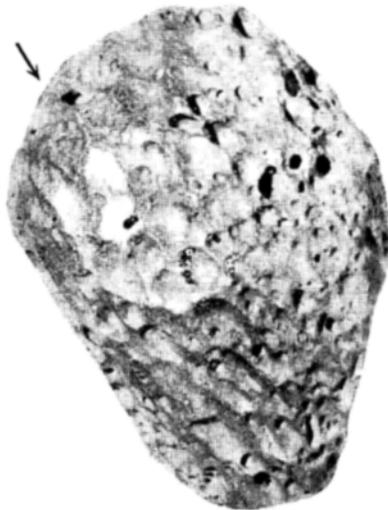


Fig. 2. — Gunnarsholt. Fragment de lave basaltique un peu vacuolaire et hétérogène, façonné par le vent. Cupules en forme de spatules, creusées par le vent, qui leur a imprimé : 1) une direction d’allongement et 2) un sens : bout plus étroit et surtout plus profond à l’amont du vent. Vent suivant la flèche. $\times 1/2$.

Gunnarsholt. Wind-worn fragment of basaltic, a little vesicular and heterogeneous lava. Spatula-shaped cupules, worn by the wind; their great lengths are all parallel; their narrower and deeper end is windward. Wind marked by arrow. $\times 1/2$.

A. CAILLEUX — *Action du vent sur les formations volcaniques en Islande.*

Fig. 1. — Gunnarsholt. Galet de lave basaltique vacuolaire. En haut face supérieure exposée au vent, luisante, à vacuoles évasées par l'usure éolienne; petites arêtes bien visibles. En bas, face inférieure, à l'abri, mate, à vacuoles non évasées ni usées. Grandeur naturelle.

Gunnarsholt. Vesicular basaltic lava pebble. Above, upper face, exposed to the wind, shiny, with vacuoles eroded by wind-wearing; well apparent small edges. Below, lower face, sheltered, dull, with vacuoles neither widened nor eroded. Natural size.

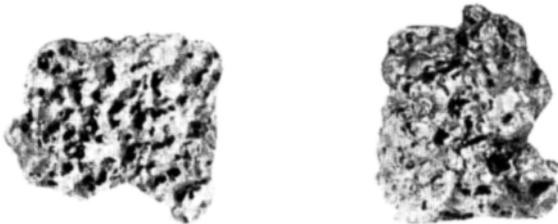


Fig. 2. — Gunnarsholt. Comme la Fig. 1, sauf qu'ici les 2 faces ont été également façonnées par le vent. Ce galet est assez petit pour avoir été fréquemment retourné. Grandeur naturelle.

Gunnarsholt. As Fig. 1, except that here the faces have been equally worn. This pebble is small enough to have been often turned upside down by the wind. Natural size.