

LES ESCARPEMENTS DU « GAASTERLAND »

SUR LA CÔTE MÉRIDIONALE DE LA FRISE.

Contribution à la connaissance du Quaternaire des Pays-Bas

PAR

le D^r H. van Cappelle, J^rSUIVIE D'UNE ÉTUDE SUR LES ROCHES SILICEUSES A SPICULES DE SPONCIAIRES
DU BOULDER CLAY DU ROODE KLIF

PAR

George Jennings Hinde

PLANCHE VIII.

Depuis longtemps déjà le *Gaasterland*, avec le *Roode*, le *Mirnser* et le *Mirdumer Klif*, dans le Sud-Ouest de la Frise, est connu des géologues comme représentant la contrée la plus riche en erratiques scandinaves de cette province.

Or, les cailloux que renferme le sol de ce territoire isolé sont accumulés en quantité tellement énorme que beaucoup d'habitants y gagnent leur vie, en hiver, en déterrants les pierres et en les brisant pour l'entretien des chemins. Ainsi, quand on veut essayer de découvrir dans cette province les preuves de son ancienne « glaciation », on devra d'abord diriger ses pas vers le *Gaasterland*.

Ce sont surtout les escarpements ci-dessus mentionnés qui doivent attirer le géologue, s'il visite ce territoire ; ils forment les parties abruptes d'un chaînon sableux, qui s'élève sur la côte méridionale de la Frise, et ils peuvent donc lui procurer plus rapidement une connaissance de la structure géologique que d'autres points de cette petite région quaternaire, où les coupes artificielles sont si rares.

Une courte visite, faite l'année passée au « Roode Klif » à l'occasion des quatre forages dont j'ai publié récemment les résultats géologiques dans nos Bulletins⁽¹⁾, m'a fait déjà connaître clairement l'origine

(1) H. VAN CAPPELLE J^r. Quelques observations sur le Quaternaire ancien dans le Nord des Pays-Bas. (Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, T. II, année 1888, p. 125-135. Avec une planche.)

de cette colline. Or, celui qui a fait quelque étude de la géologie de l'époque quaternaire, reconnaît immédiatement dans l'argile qui constitue une grande partie de cette élévation, l'argile à blocaux ou le *Blocklehm* des Allemands — ce dépôt intéressant, décrit tant de fois par les géologues, depuis que la théorie des glaciers a été généralement acceptée.

Les quelques faits qui nous ont conduit à une telle opinion sont déjà sommairement mentionnés dans notre mémoire.

Le désir que m'avaient inspiré l'examen des échantillons de ces forages et surtout les observations faites par les professeurs K. MARTIN et F. J. P. VAN CALKER et par le docteur J. LORIE sur le Quaternaire de notre pays, désir qui me portait à découvrir en ces lieux de nouvelles preuves d'une ancienne action glaciaire, devait cependant rester longtemps inaccompli, à cause de la difficulté qu'il y a d'atteindre cette partie de la Frise. Ce fut la libéralité de la *Société Frisonne pour l'Histoire, l'Archéologie et la Philologie* de Leeuwarden qui me mit à même de faire quelques observations me paraissant avoir de la valeur pour la connaissance du sol dans le Nord des Pays-Bas.

Avant de communiquer les résultats de mes recherches, j'ai à remplir ici un devoir envers cette Société, en exprimant mes remerciements sincères pour l'appui pécuniaire qu'elle a eu la bonté de me prêter, et pour l'intérêt dont elle a fait preuve dans l'étude du sol néerlandais.

Il n'y a presque aucune région dans notre pays, dont la nature du sol soit si peu connue que celle du *Gaasterland*. En examinant la bibliographie sur ce sujet, on trouve bien quelques communications très brèves sur la situation de ces collines, mais des données plus exactes sur cette partie de notre Quaternaire, analogues à celles que nous possédons déjà sur d'autres parties du terrain diluvien des Pays-Bas, manquent absolument par rapport au *Gaasterland*.

STARING, qui, dans son *Bodem van Nederland*, nous donne tant de renseignements intéressants sur le sol diluvien de notre pays, nous signale seulement, au sujet du *Gaasterland*, que ce petit territoire est formé de trois chaînons, dirigés du Nord-Ouest au Sud-Est, dont le « Roode Klif », près de Stavoren, est le plus occidental (1) ; mais il ne semble

(1) W. C. H. STARING. *De Bodem van Nederland*. Harlem 1860, seconde partie, p. 30.

pas avoir visité lui-même ces contrées, ou du moins les avoir parcourues sommairement.

BRUINSMA, le savant Frison, qui, surtout par sa *Flora Frisica* (1), a acquis une certaine réputation hors de cette province, ne désigne dans sa courte description du sol de la Frise (2) le *Gaasterland* que comme un groupe distinct du Quaternaire de cette province. Aussi l'article de cet auteur sur le « Roode Klif » dans le *Nieuwe Friesche Volks Almanak* de l'année 1863 ne contient, sur la structure et les éléments de cette colline, rien que nous puissions employer comme base de nos investigations et n'est qu'une réfutation de l'opinion, admise par tant d'écrivains anciens, que cette éminence a pris naissance par des actions volcaniques!

Même après 1875, année dans laquelle TORELL émit sa théorie des glaciers et depuis laquelle nous avons vu toujours augmenter l'intérêt de l'étude des dépôts quaternaires, ces contrées n'ont été visitées qu'une seule fois par un géologue : M. LORIÉ, qui dans ses « Contributions (II) à la géologie des Pays-Bas (3) » n'a consacré au « Roode Klif » qu'une douzaine de lignes, mais qui y reconnut immédiatement, lors d'une courte visite, la moraine inférieure.

Ainsi, les pages suivantes ne contiendront que les résultats de mes propres recherches.

Comme je l'ai déjà fait remarquer, un chaînon sableux s'étend le long de la côte méridionale de la Frise; il possède, surtout du côté de la mer, une assez grande hauteur et en quelques endroits il est à pic. Déjà depuis longtemps ces hauteurs escarpées sont connues sous le nom de *kliffen*, — un mot qui, suivant BRUINSMA, est probablement dérivé du verbe *klieven* (fendre), ce qui est prouvé surtout par la signification, dans laquelle le mot *klif* est employé dans cette province (4).

(1) J. J. BRUINSMA, *Flora Frisica* of Naamlijst en kenmerken der zichtbaar bloeiende planten van de provincie Friesland. Leeuwarden 1840.

(2) Loc. cit., pag. 17 et *Natuurkundige plaatsbeschrijving van Friesland*, dans les « Bijdragen tot de Geneeskundige plaatsbeschrijving van Nederland, 's Gravenhage, 1872. Seconde partie, page 19.

(3) Archives Teyler, Série II, T. III, première partie. Haarlem 1887.

(4) BRUINSMA fait remarquer à ce sujet dans son article sur le « Roode Klif » :

Opmerkelijk is voorts de overeenkomst van klif met de beteekenis, die men in Friesland geeft aan het woord klip. Dit woord gebruikt men bijv. van een gedeeltelijk afgestoken hooibult, als men zegt : « daar zit nog een heele klip hooi ». Zoo spreekt men van eene klip of klipke turf en diergelijke. Het is altijd in de beteekenis van eene afgebrokkelde hoogte, gelijk de Gaasterlandsche kliffen afgebrokkelde zandheuvelen zijn.

Ces promontoires — comme nous pouvons nommer ces hauteurs escarpées — étant actuellement bien protégés contre les vagues, et l'eau de pluie entraînant continuellement de l'argile de haut en bas, il s'en suit que la structure primitive reste cachée à l'observateur et ils paraissent, pour le géologue, moins intéressants que le « Voorst », l'escarpement de la côte de l'Overijssel, dont le versant escarpé reste frais et vertical par l'action continue des vagues. Il est donc facile de comprendre, pourquoi M. LORIE, dans ses considérations sur le diluvium scandinave (1), fait principalement mention de ce dernier point, et ne signale qu'en passant les escarpements du « Gaasterland ».

Cependant il m'avait paru que quelques recherches pourraient nous apprendre des faits qui ne seraient pas sans valeur pour la connaissance du Quaternaire de la Frise, et en effet je n'ai pas été déçu dans cette attente. A cause de la plus grande facilité avec laquelle le plus occidental des trois escarpements, c'est-à-dire le « Roode Klif », peut être actuellement atteint, je n'ai visité les deux autres, le « Mirnser » et le « Mirdumer Klif », qu'une seule fois, de sorte que les pages suivantes traiteront principalement de l'Escarpement Rouge.

Le « Roode Klif », qui est situé à une distance d'environ trois quarts de lieue au Sud-Sud-Est de Stavoren, est une colline ayant un versant escarpé du côté de la mer, mais une pente douce vers l'intérieur, se joignant au N-N-O et au S-S-E à la digue qui protège la plus grande partie de la côte méridionale de la Frise. L'escarpement, qui a une longueur de 570 mètres et qui s'élève jusqu'à 11^m,51 au-dessus de la mer, est encore défendu depuis l'an 1829 par une rangée de pieux, qu'on a dû élever à cause de la destruction à laquelle il avait été exposé dans les années précédentes. Cette rangée de pieux protège actuellement une plage assez large (de 18 à 23 mètres) jusqu'au pied de cette hauteur (voir la figure ci-après).

Par sa situation isolée au milieu d'un terrain plat, formé de glaise marine et de tourbières, le « Roode Klif » doit plus frapper le voyageur que les deux autres escarpements, situés plus vers l'Est. En effet, celui qui, venant de Stavoren, n'a longé que des prairies monotones et n'y a observé que les quelques plantes si connues des habitants du territoire formé par la glaise marine, sera beaucoup plus étonné, s'il monte sur cette hauteur et s'il trouve, dans cet endroit isolé, une flore (2) qui

(1) Loc. cit., page 86-98.

(2) J. J. BRUINSMA ne nomme dans sa *Flora Frisica* que les plantes suivantes,



FIG. I. — Le « Roode Klif », près de Stavoren, vu de la digue non loin de Laaxum.

observées par lui sur le « Roode Klif » : *Trifolium arvense* L., *Sedum acre* L., *Filago minima* Fr., *Ammophila arenaria* Lam. et *Elymus arenarius* L.

A cette liste nous pouvons cependant ajouter les espèces suivantes, croissant soit sur le sommet de cet escarpement, soit sur sa pente douce : *Teesdalia nudicaulis*

caractérise les sables quaternaires, que s'il gravit la pente douce du « Mirdumer Klif », après avoir traversé les collines boisées du *Gaasterland*.

Quand on se trouve sur la plage, le dos tourné à la mer, on voit que l'escarpement a sa plus grande hauteur (11 mètres) au milieu (1), et que depuis ce point il s'abaisse continuellement vers le Nord-Nord-Est, jusqu'à l'endroit où il se joint à la digue et où il n'a qu'une hauteur de 4^m,73. La plus grande partie de son versant escarpé est couvert d'herbes, entre lesquelles se montre çà et là le sol jaune, qui est souvent coupé par des rainures profondes, creusées par l'eau de pluie.

Une observation superficielle du sol qui constitue le « Roode Klif » montre immédiatement que cette colline n'est pas constituée, comme le dit M. BRUINSMA *l. c.*, par un sable ferrugineux rougeâtre, mais qu'elle est formée, en grande partie, d'une argile sableuse, dans laquelle sont enfermés, sans aucune régularité, un grand nombre de cailloux, qu'on ne peut extraire qu'avec beaucoup de peine. Quoique cette observation nous fasse reconnaître immédiatement dans le « Roode Klif » un fragment de la moraine inférieure du grand manteau de glace scandinave, une étude plus attentive du sol nous apprend que sa structure est encore beaucoup plus compliquée, et qu'elle ressemble tout à fait à celle que nous observons souvent dans la moraine inférieure d'un glacier. En tel point nous trouvons une argile brun-rouge, qui est molle et plastique à l'état humide, mais très dure à l'état sec, et dans laquelle beaucoup de cailloux sont dispersés sans aucune régularité ; en tel autre point on rencontre une argile plus sableuse, d'une couleur souvent bleu-gris, et renfermant de même des cailloux ; à un autre endroit le sol n'est pas constitué par de l'argile, mais du sable, qui tantôt contient des cailloux, et tantôt en est privé.

Par ces différences répétées de constitution, que l'on observe dans beaucoup d'endroits où la moraine inférieure est développée, et qui sont accompagnées le plus souvent des phénomènes, si connus, d'une action glaciaire locale (comme des entortillements, des courbures et des renversements) il me semblait extrêmement probable que cette structure

R. Br., *Stellaria Dilleniana* Mönch., *Sagina apetala* L., *Cerastium triviale* Link., *Linum catharticum* L., *Geranium molle* L., *Trifolium repens* L., *Tr. minus* Rell., *Tr. pratense* L., *Ornithopus perpusillus* L., *Scleranthus annuus* L., *Hieracium pilosella* L., *Achillea millefolium* L., *Bellis perennis* L., *Hypochoeris radicata* L., *Jasione montana* L., *Statice elongata* Hoffm., *Plantago lanceolata* L., *Pl. coronopus* L., *Rumex acetosella* L., *R. acetosa* L., *Luzula campestris* Dc., *Anthoxanthum odoratum* L., *Bromus mollis* L., *Holcus lanatus* L., *Cynosurus cristatus* L., *Festuca ovina* L., et *Carex arenaria* L.

(1) Il s'élève jusque 11^m.53 au-dessus du niveau de la mer.

remarquable décrite récemment par M. le Professeur F. J. P. VAN CALKER dans le « Hondsrug » en Groningue (1), pourrait être également retrouvée dans la moraine inférieure du « Roode Klif ».

Or, le versant escarpé, tourné vers la mer, étant en grande partie couvert d'herbes, et, d'autre part, les quelques points où le sol apparaît à la surface, ayant totalement perdu leur caractère primitif par le lavage de l'argile des parties plus élevées de la colline, il était nécessaire d'obtenir une coupe fraîche — opération pour laquelle il m'a fallu demander l'approbation des États Députés. Bien que ce collège m'ait refusé son autorisation, pour le motif que « chaque creusement, quelque petit que ce fût, pourrait nuire à ce rempart contre la mer » (!), j'ai pourtant réussi à découvrir la structure remarquable de la moraine inférieure du « Roode Klif ».

Sans que je pusse présumer que l'enfoncement d'un seul coup de bêche dans cette hauteur — dont le pied n'est atteint par la mer que dans les cas très rares de mer houleuse — aurait été refusé, même à un géologue, j'avais fait élargir, à une distance d'environ 7 mètres du bord supérieur, un trou qui s'était formé par l'enfoncement d'un morceau d'argile et qui m'a permis de jeter un coup d'œil sur la structure de la moraine.

Ce que j'ai observé, est représenté ci-dessous à l'échelle de 1 : 19. Ce profil, orienté du N-N-O au S-S-E et ayant une longueur de 1^m, 12

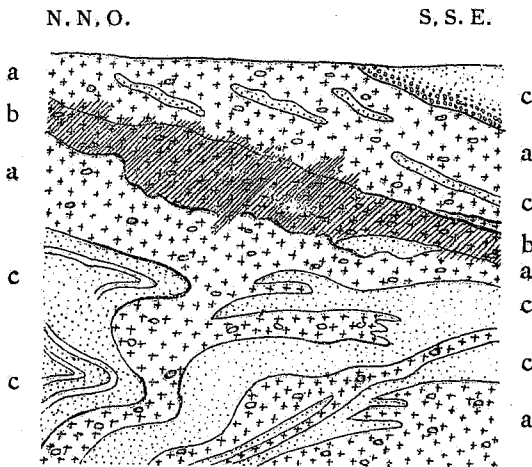


FIG. II.

(1) Ueber glaciale Erscheinungen im Groninger Hondsrug (*Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Gesellsch.* 1888, p. 258-262).

sur une hauteur de 1 mètre, démontre que l'escarpement n'est pas seulement constitué par de l'argile, mais que du sable *c*, et de l'argile *a*, alternent plusieurs fois et que ces deux éléments sont pliés, contournés et entremêlés ; ce qui se remarque immédiatement à cause des bandes d'argile ondulées et linguiformes, poussées dans le sable et nettement marquées.

Ce profil nous montre donc clairement les phénomènes glaciaires, qui ont été observés dans la moraine inférieure par le professeur F. J. P. VAN CALKER dans le « Hondsrug » en Groningue (1), par M. le Dr LORIE en plusieurs endroits de la partie centrale des Pays-Bas (2), et enfin par moi-même près de Baarn, dans la province d'Utrecht (3).

Cette découverte n'est pas sans intérêt, car les endroits où l'on a observé des phénomènes glaciaires ne sont pas très nombreux dans notre pays, et c'est la première fois, dans cette province, que cette structure a pu être démontrée.

Dans la moraine inférieure du « Roode Klif » j'ai pu aussi observer la forme ondulée, par laquelle la dislocation des éléments se montre souvent. Sous le bord supérieur une partie du sol s'était éboulée par l'eau de pluie, de sorte qu'un profil devenait visible ; c'est ce que j'ai représenté dans la figure ci-jointe à l'échelle de 1 : 20 et dans laquelle le sable et l'argile se trouvent entremêlés, mais moins fortement.

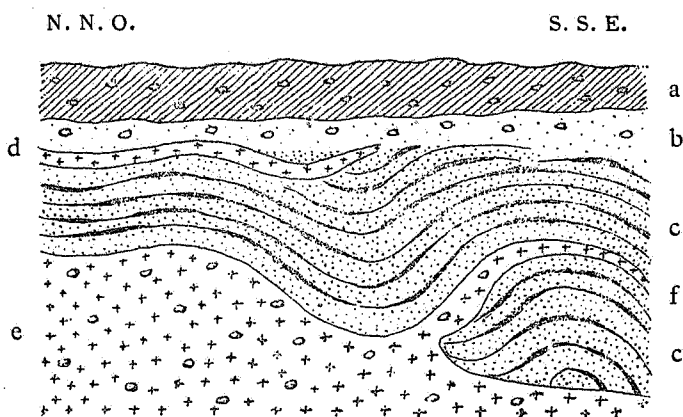


FIG. III.

(1) Loc. cit.

(2) Loc. cit.

(3) *Eenige geologische waarnemingen in de omstreken van Baarn.* (Tijdschr. v. h. Kon. Ned. Aardr. Gen. 1889. Versl. en Aardrijksk. Meded. p. 191-198).

Dans ce profil nous voyons, sous une couche de sable non stratifié *b* contenant des erratiques et dont la partie supérieure *a* est colorée en noir par la terre végétale, des couches de sable *c*, que je n'ai pu suivre que sur une distance de 1^m,80 et dont la forme ondulée est clairement démontrée par des couches minces d'argile, qui les séparent, — structure qui se confirme encore par la couche d'argile *d* et par les ondulations de l'argile *e*, de laquelle un lambeau *f* s'est détaché et s'est introduit dans le sable.

Avant de quitter ces deux profils, qui nous ont fait connaître un caractère essentiel de la moraine inférieure, à savoir : la présence de parties stratifiées, qui par la glace en mouvement se sont pliées, courbées et entremêlées, nous devons encore attirer l'attention sur l'argile grise qui est située à la partie inférieure de l'escarpement et qui est désignée dans ma première coupe par la lettre *b*. Cette espèce d'argile diffère distinctement par sa composition de l'argile brun rouge, qui forme, près du bord supérieur, le sol de l'escarpement et qui est visible dans la coupe en *e* représentée figure III.

Cette argile rouge est une terre très plastique à l'état humide, mais si dure, à l'état sec, que des fragments ne peuvent être brisés au marteau qu'avec beaucoup de peine; elle contient des paillettes nombreuses de mica, originaires du granit décomposé et renferme aussi un assez grand nombre de morceaux de feldspath (pour la plus grande partie d'une couleur rouge) et de grains de quartz hyalin, d'une forme assez anguleuse. Le calcaire y fait absolument défaut.

L'argile grise, au contraire, est beaucoup moins plastique à cause de la grande quantité de sable dont elle est chargée et, entre les doigts, elle tombe immédiatement en poussière. En plusieurs endroits cette argile est traversée par des couches minces d'une couleur gris-clair ou presque blanche, ayant une proportion de calcaire très élevée, dont l'origine n'est pas difficile à expliquer, car çà et là j'observais dans cette argile sableuse des petits morceaux d'un calcaire bleu-gris, duquel j'ai pu recueillir plusieurs morceaux assez grands sur la plage qui s'étend devant l'escarpement.

Je crois utile de fixer dès à présent l'attention sur la présence de ces calcaires dans le « Roode Klif » — roches dont je parlerai plus amplement en décrivant celles renfermées à cet endroit dans la moraine inférieure —, parce que, lors de ma première visite, je n'avais pu y découvrir du calcaire et parce que j'avais regardé l'absence totale du calcaire comme une différence importante avec la moraine inférieure du sous-sol de la Frise.

Outre le calcaire, l'argile grise contient encore d'autres roches : du

quartz hyalin, des fragments de granit, etc., qui ont, pour la plupart, été roulés, et qui ne sont pas autant décomposés que les morceaux de roche, renfermés dans l'argile brun-rouge plastique.

A la suite de ce que je viens de dire sur la différence qui existe entre les deux espèces d'argile et sur leur situation dans le « Roode Klif », il ne sera peut-être pas trop hasardé de regarder l'argile grise sableuse comme un produit du lavage des eaux de fonte du glacier et l'argile brun-rouge plastique, située plus haut dans l'escarpement, comme le reste de l'argile à blocs primitive.

Quoique la proportion élevée de calcaire et le fait — que je n'ai pu découvrir de calcaire que dans les parties inférieures de ce point de l'escarpement, où il atteint sa plus grande hauteur, et que les fragments, qui sont dispersés sur la plage, se trouvent seulement devant ce point le plus haut — soient des phénomènes assez curieux, ils peuvent être expliqués d'une façon naturelle en admettant que les calcaires ne sont accumulés dans le « Roode Klif », que localement — phénomène que j'ai également observé dans la moraine inférieure du sous-sol de Sneek (1) — et que la chaux n'a pas fait absolument défaut dans l'argile sableuse rougeâtre (désignée dans notre premier profil par la lettre *a*) et alternant avec l'argile grise, mais qu'elle a été dissoute plus tard par les eaux atmosphériques. Cette opinion, que j'ai déjà exprimée dans ces « Bulletins » (2), se confirme maintenant par l'observation que les deux argiles ne sont nulle part nettement délimitées (voir la première coupe, fig. II) (3) et par le fait que dans les endroits où l'argile grise, par l'influence des eaux atmosphériques, avait déjà acquis une couleur rougeâtre, je n'ai pu trouver la moindre trace de calcaire.

De même, une visite au « Mirdumer Klif », situé à une distance d'environ deux heures à l'est du « Roode Klif », a confirmé cette opinion; cet escarpement, qui par sa plus grande longueur et par son versant nu, presque vertical, rendrait l'étude de la structure de la moraine inférieure plus facile, paraît être constitué originairement par une argile grise très dure, contenant çà et là beaucoup de calcaire, et qui, par suite de la dissolution du calcaire et de l'oxydation des matières ferrugineuses, se change peu à peu en argile brun-rouge, sans aucune trace de calcaire.

Mais outre les caractères de l'argile, qui dans ma première coupe (fig. II) constitue le sol de l'escarpement, il y a encore un autre phé-

(1) Voir ce Bulletin, Tome II, 1888, pag. 126.

(2) Loc. cit., pag. 129.

(3) Çà et là l'argile grise est bordée de lignes entortillées brun-rougeâtre durcies par l'hydroxyde ferrique.

nomène, que je dois mentionner, et qui nous fait voir clairement l'influence des eaux de fonte du glacier pendant la formation des parties inférieures de la colline. Dans l'argile, qui, de même que le sable alternant, a été courbée et entremêlée par la glace en mouvement, j'ai rencontré plusieurs morceaux d'un conglomérat calcaire gris-jaune très dur, qui, généralement, se compose de grains de quartz hyalin roulés, contenant aussi des fragments de feldspath et renferment aussi quelques morceaux de silex, de granit, de calcaire et d'autres roches.

Ainsi quand, par l'acide chlorhydrique, on enlève le ciment calcaire et glaiseux qui unit solidement tous ces éléments, il reste un gravier grossier, se composant des éléments dont l'argile à blocs est constituée ; ce qui nous prouve que ces morceaux de conglomérat ne sont pas des erratiques transportés de loin, mais qu'ils sont formés sur place même par l'agglutination des éléments de la moraine inférieure par les eaux de fonte du glacier. Après la découverte, dans l'argile, de quelques fragments de calcaire blanc (voir page 243), qui ont la surface couverte du même conglomérat calcaire, on ne peut plus douter du mode de formation et, par la présence de mêmes morceaux dans l'argile rougeâtre décalcifiée, passant insensiblement dans l'argile grise (voir la fig. II) et par l'absence totale de chaux en ce cas dans les parties superficielles, il est clair que ce n'est pas l'infiltration de l'eau atmosphérique qui a causé la cimentation, mais réellement l'eau de fonte du glacier.

Comme sous les couches disloquées de sable et d'argile se trouve encore l'argile à blocs typique, que l'on observe en ce point même jusqu'au pied de l'escarpement, il est démontré que la moraine inférieure a, dans cet endroit, une épaisseur au moins aussi grande (environ 10 mètres) que celle que j'ai constatée dans le sous-sol de Grouw (1). Nous pourrions donc nous attendre à connaître la nature du sous-sol de l'Escarpement Rouge par un forage peu profond.

Avec une sonde à main très simple j'entrepris dans ce but un forage de quatre mètres au pied de l'escarpement ; les échantillons furent collectionnés avec soin tous les 28 centimètres. Le sondage devait être jugé intéressant, attendu que le professeur K. MARTIN, dans son mémoire sur l'île d'Urk (2) dans le « *Zuiderzee* », parle aussi du sous-sol en cet endroit (3) et dit que la moraine inférieure y repose sur un

(1) Loc. cit., page 129.

(2) Het eiland Urk, benevens eenige algemeene beschouwingen over de geologie van Nederland (*Tijdschrift van het Kon. Nederl. Aandr. Genootsch. Versl. en Aardrijksk. Meded.* Jaarg. 1889, pages 1-37).

(3) Loc. cit., page 14.

sable contenant de petits morceaux de lignite, qui se retrouvent dans les parties inférieures de l'argile superposée. Or, tandis que M. MARTIN juge ces morceaux de lignite d'un grand intérêt, parce que nous pouvons admettre, que « non seulement le lignite mais même le sable, « mêlé à l'argile à blocs, sont originaires de la même formation du « sous-sol, savoir de couches tertiaires, » il laisse en doute la question de savoir si ce sable, sous la moraine inférieure, peut être déjà regardé comme une couche tertiaire. Cependant pas une seule roche scandinave n'a été rencontrée dans ce sable.

Actuellement, ce que je puis dire du sous-sol de la moraine inférieure du « Roode Klif » est très différent de ce que M. MARTIN décrit du sous-sol de l'île d'Urk, sous l'argile à blocs. L'étude des différents échantillons m'a appris que l'argile devient de plus en plus sableuse à mesure qu'on descend et qu'elle est peu à peu remplacée par du sable, qui cependant n'est pas seulement formé de grains de quartz, mais qui contient aussi d'autres éléments minéraux, principalement des grains de feldspath. Les grains de sable continuent à diminuer de grosseur en descendant, et il en est de même des petits cailloux qu'il contient ; enfin les couches inférieures sont mêlées d'une poussière extrêmement fine, provenant de la décomposition de différents silicates. Non seulement la grosseur, mais aussi le nombre des morceaux de différentes roches diminuent à mesure qu'on descend et la forme anguleuse, qu'ils présentent encore dans le sable immédiatement inférieur à l'argile se perd peu à peu, pour devenir très arrondie dans les couches inférieures.

Remarquons d'ailleurs que, tandis que les cailloux, dans les couches supérieures de ce sable, se composent de différentes roches : granit, feldspath (abondant), grès, quartzite, silex et quartz hyalin ou semi-hyalin (abondant), les couches inférieures ne contiennent que des grains de quartz.

Que pouvons-nous conclure de ces phénomènes ? Il semble qu'ils peuvent être parfaitement expliqués par la théorie des glaciers ; car il est impossible de regarder cette formation sableuse autrement que comme du *Quaternaire glaciaire stratifié*, donc comme une formation qui a été déposée par les ruisseaux du glacier scandinave voisin et on ne peut attribuer les phénomènes décrits qu'à la distance variable ayant existé entre le bord de la glace et le dépôt de sable.

Nous sommes donc obligé de tirer ici la même conclusion que celle à laquelle nous a conduit l'étude des couches glaciaires se trouvant à

Sneek sous l'argile à blocaux (1); d'ailleurs il est assez remarquable que la diminution lente en grosseur des éléments puisse être démontrée même sur une profondeur de 4 mètres.

Mais il y a encore un autre phénomène, qui n'est pas sans intérêt pour la connaissance du mode de formation du sable sur lequel repose la moraine inférieure. Avec ce sable sont mêlés des restes de plantes, qui augmentent en descendant et qui, pour la plus grande partie, sont formés de fragments de tiges et de feuilles de graminées. A une profondeur de 3^m,72 sous l'argile à blocaux se trouvaient aussi dans ce sable quelques glumes isolées et même un petit épi de ces plantes; les micro-organismes y manquaient absolument.

Ainsi, nous pouvons admettre que les ruisseaux du glacier ont versé ici les produits du lavage de la moraine inférieure s'avançant dans une contrée où des graminées étaient abondantes et c'est ainsi qu'il y a une grande différence entre le Quaternaire glaciaire stratifié du « Roode Klif » et les sédiments des ruisseaux du glacier sous Sneek, que nous avons démontré, dans ces Bulletins, être une formation marine, voisine de la côte (2).

Maintenant que j'ai fait connaître, dans les pages précédentes, les preuves évidentes d'une ancienne action glaciaire dans cette contrée, je vais montrer que le grand nombre des cailloux d'origine septentrionale prouve avec autant de certitude une pareille action.

Avec la dispersion irrégulière qu'ils montrent dans l'argile des escarpements du *Gaasterland*, ces cailloux n'ont pas, pour la plupart, une forme ronde ou ovale, comme les cailloux qui ont été longtemps roulés par les eaux; beaucoup d'entre eux ont, au contraire, une forme très irrégulière, avec des arêtes arrondies, ayant leur surface souvent magnifiquement polie et striée; caractères que nous avons observés clairement dans quelques morceaux de granit et de calcaire silurien. Mais ce n'est pas seulement dans l'argile à blocaux, mais aussi sur la plage devant le « Roode » et le « Mirdumer Klif » (entre le « Mirnser Klif », qui est presque complètement couvert d'herbes, et la palissade qui sert de protection contre les vagues, s'étend une bande de pâturages), que se trouvent dispersés un grand nombre de cailloux qui ont été renfermés autrefois dans la moraine inférieure et qui, lors de leur déplacement, ont le plus souvent perdu leurs caractères primitifs. En collectionnant des erratiques dans ces endroits, je n'ai donc pas pris la peine

(1) Voir ce Bulletin, Tome II, 1888, pag. 130.

(2) Loc. cit., pag. 127 et 131.

de chercher dans l'argile extrêmement dure, mais j'ai ramassé la plupart des cailloux sur la plage. Cependant mon attention n'a été fixée, pendant ces recherches, que sur les cailloux peu volumineux, parce que les cailloux plus grands, qui se trouvent amoncelés çà et là devant ces deux escarpements, ont été apportés pour augmenter la résistance des digues.

Pendant mes visites au « Roode » et au « Mirdumer Klif » je n'ai pas fait la moindre attention aux cailloux ; c'est par leur situation dans la moraine inférieure que la détermination de leur origine probable doit être jugée d'un grand intérêt. Cependant, pour remplir cette tâche difficile, je me trouvais dans des circonstances très défavorables.

Quiconque s'est occupé de la détermination des erratiques sait combien de difficultés on éprouve et combien de temps il faut pour déterminer l'origine des différentes variétés de roches plutoniennes et sédimentaires, et combien il est difficile d'éviter des erreurs, quand on ne peut pas disposer d'objets de comparaison, et quand on est ainsi forcé de faire les déterminations d'après des descriptions.

Pendant l'étude des erratiques de la moraine inférieure de la côte méridionale de la Frise, je me suis borné aux roches sédimentaires, qui méritent surtout notre attention, et je n'ai hasardé la détermination d'origine que pour les roches, qui, sans comparaison avec des pièces originelles, étaient faciles à reconnaître.

Cependant, il se trouvait dans l'argile à blocs deux roches dont l'horizon géologique, soit par l'absence totale de fossiles soit par la nature des restes organiques qui ont pris part à la formation, ne pouvait être fixé avec une certitude absolue sans comparaisons nombreuses et sans étude exacte. Pour une de ces roches, qui me semblaient d'un grand intérêt relativement à une étude de la direction de transport des cailloux de notre Quaternaire, j'ai invoqué l'assistance d'un savant qui doit être regardé comme un des critiques les plus compétents dans cette partie de la science, M. GEORGE JENNINGS HINDE, à qui je dois beaucoup de remerciements pour la manière dont il s'est acquitté de la tâche entreprise à ma demande. (Voir p. 254.)

Les roches plutoniennes sont, parmi les erratiques, les plus richement représentées dans l'argile à blocs ; les silex forment une exception. Les cailloux les plus abondants sont des granits, qui se trouvent représentés par un grand nombre de variétés. Outre cette roche, beaucoup de gneiss, d'amphibolites, de syénites et de diorites sont renfermés dans la moraine inférieure avec quelques plus rares

cailloux de porphyre. Cependant ces roches se prêtant rarement à une détermination exacte quant à leur origine, je ne les ai pas étudiées, et je ne puis constater que la présence de granits, qui présentent le caractère, facile à reconnaître, du granit d'Aland. Les schistes cristallins aussi sont bien représentés dans l'argile à blocs.

Les cailloux des formations sédimentaires sont, pour des raisons faciles à comprendre, d'une valeur beaucoup plus grande, et c'est pourquoi je ne m'occuperai ici que de ces roches (1). Celles que je désire décrire ci-après, se rapportent à trois formations géologiques, savoir : 1^o *formation cambrienne* ; 2^o *formation silurienne* et 3^o *formation crétacée*.

ROCHES CAMBRIENNES.

Parmi les grès et les quartzites, que la moraine inférieure de la côte méridionale de la Frise renferme en grande quantité, il se trouve un grès très caractéristique, qui mérite spécialement notre attention, et dont j'ai trouvé, dans le « Roode Klif », un morceau plus ou moins arrondi, de 7 centimètres, et dans le « Mirnser Klif » un morceau aplati tout aussi grand. C'est un grès très dur, gris-jaune, d'une couleur plus foncée à la surface, ayant un peu l'aspect du quartzite, à cause du ciment siliceux qui lie les grains de quartz.

En fendant ces morceaux ils montrent çà et là des tiges cylindriques, qui ont une largeur de 1^{mm},50 à 2 millimètres, et qui se présentent comme des tuyaux droits ou légèrement courbés, remplis du même grès. Ces tiges sont d'une autre couleur que le grès environnant, de sorte que cette roche se montre comme tachée ou rayée suivant la direction du clivage.

On peut juger immédiatement par cette description de l'âge et de l'origine de ce grès, car, parmi les roches de la moraine inférieure des escarpements, il ne s'en trouve presque aucune aussi facile à reconnaître. En tous les points, il ressemble tellement au *grès à scolithes* (Skolithen-Sandstein) de la Suède, que je n'hésite pas un seul moment, à l'identifier à cette roche.

ROCHES SILURIENNES.

Quoique le grès précédent soit déjà très intéressant pour le géologue, attendu que c'est pour la première fois que sa présence a été démontrée

(1) Nous avons principalement consulté le bel ouvrage de FERDINAND ROEMER : *Lethaea erratica oder Aufzählung und Beschreibung der in der norddeutschen Ebene vorkommenden Diluvial-Geschiebe norddeutscher Sedimentär-Gesteine*. Berlin, 1884-1885.

dans le Quaternaire de notre pays (1), les *calcaires du Silurien supérieur*, dont, aussi bien au « Roode » qu'au « Mirdumer Klif », j'ai pu réunir une assez grande collection, ne sont pas de moindre importance. Sur la plage, devant ces deux escarpements, sont dispersés des nombreux morceaux de ces calcaires, qu'on n'a qu'à se donner la peine de les ramasser, et de plus, j'ai pu en extraire quelques-uns de l'argile à blocs avec des surfaces magnifiquement polies et striées.

Déjà depuis longtemps les environs de Groningue et l'île d'Urk sont connus, parmi les géologues, par les nombreux calcaires siluriens qu'on y trouve dans les dépôts quaternaires, et il n'y a pas longtemps que M. MARTIN, dans son intéressant Mémoire sur cette île (l. c.), a fait remarquer qu'on ne connaît pas, dans les Pays-Bas, un troisième endroit qui puisse être comparé à cet égard avec ces deux localités.

Ayant donc fait connaître dans le Quaternaire de notre pays, un troisième point où ces calcaires se trouvent accumulés en grande quantité, la question se pose d'elle-même : laquelle de ces deux localités ressemble à la moraine inférieure de la côte méridionale de la Frise par rapport aux calcaires du Silurien supérieur. Déjà M. MARTIN a clairement démontré que les *calcaires à Beyrichies* (Beyrichienkalken) prévalent à l'île d'Urk, tandis que les *calcaires à Coraux* (Korallenkalken) prédominent à Groningue ; en même temps il remarque qu'on rencontre dans l'île d'Urk le *calcaire à Beyrichies* surtout dans sa forme typique — phénomène inattendu à cause de la rareté de ce calcaire dans les contrées à l'ouest de l'Elbe.

Maintenant, en examinant ma collection, j'ai remarqué immédiatement, que, dans la moraine inférieure du « Gaasterland », le *calcaire à Beyrichies* typique est le plus abondant. La ressemblance que présentent ces calcaires avec ceux de l'île d'Urk, que M. MARTIN a décrits, est si grande, que je pourrais reproduire sa communication presque mot à mot. Cependant, la différence que j'ai observée entre les calcaires siluriens du « Roode » et du « Mirdumer Klif » est remarquable. Pendant mes visites à l'Escarpement Rouge, je n'ai réussi à trouver qu'un seul caillou du calcaire typique à Beyrichies ; la roche montrait la teinte verdâtre, qui est souvent propre à ces calcaires, mais n'avait aucune ressemblance avec aucun des morceaux du « Mirdumer Klif ». En ce dernier point, au contraire, j'ai trouvé une si grande quantité de ces calcaires que les calcaires bleu-gris ou jaun-bruns plus ou moins cristallins ou compactes (ayant sans doute une

(1) Plus tard le Professeur F.-J.-P. van Calker me montra un bloc de ce grès, ayant une longueur de 2 décimètres et provenant des dépôts glaciaires du « Hondsrug ».

origine silurienne supérieure) — qui se présentent en si grand nombre devant le « Roode Klif » et dont la détermination d'origine ne peut être effectuée qu'à l'aide d'une riche collection de comparaison — échappaient presque totalement à la vue.

Relativement à la dispersion de ces calcaires, je dois encore faire mention d'un phénomène que j'ai déjà pu faire remarquer en parlant de l'argile grise, à savoir l'accumulation locale des calcaires du Silurien supérieur dans les deux escarpements.

Ce fait, déjà prouvé par la dispersion des cailloux sur la plage (aussi bien au « Roode » qu'au « Mirdumer Klif » où ils se trouvent seulement devant la partie du versant escarpé, situé le plus vers l'est), se montrait aussi lors de la recherche des cailloux nombreux qui saillaient dans l'argile ou qui s'y trouvaient dispersés; le peu de fragments que je pouvais découvrir dans l'argile ne se trouvaient aussi que dans sa partie orientale. Sans vouloir expliquer ce phénomène, il est cependant trop évident pour ne pas en faire mention en quelques mots.

Quoique je n'aie pu découvrir — comme je l'ai déjà fait remarquer — la contrée probable d'origine de toutes les variétés qui représentent le calcaire à Beyrichies dans la moraine sur la côte méridionale de la Frise — étude très désirable en effet pour la connaissance de la direction du transport des différents erratiques septentrionaux — je veux cependant attirer l'attention ici sur quelques-unes des variétés les plus caractéristiques.

Dans cet endroit le calcaire à Beyrichies typique peut également être immédiatement reconnu par la forme aplatie des calcaires gris ou bleu-gris et aux *Beyrichies* qui couvrent en grande quantité la surface décomposée. Souvent ces Ostracodes, qui, pour la plus grande partie, doivent être déterminés comme *Beyrichia tuberculata* Kloed. spec., remplissent tellement les calcaires qu'ils ne laissent presque aucun interstice; avec ces Ostracodes nous voyons dans quelques morceaux *Phodilops antiqua* Schloth. spec., prendre part à la formation du calcaire. La roche a une couleur grise, elle est compacte et contient beaucoup d'argile. Outre les espèces nommées, j'ai encore observé dans le calcaire à Beyrichies typique les fossiles suivants :

Entrochus astericus Roem., se trouvant çà et là sur la surface décomposée des calcaires.

Rhynchonella nucula Sow. spec. Peu nombreux et le plus souvent en fragments.

Chonetes striatella Dalm. spec. Comme le précédent.

Tentaculites ornatus Sow. spec. Dans quelques exemplaires.

Plusieurs morceaux, dans lesquels les Beyrichies sont beaucoup

moins nombreux, sont d'une forme plus ou moins arrondie; dans ce cas la roche est plutôt bleue que grise, elle a une structure plus ou moins cristalline, ne contient le plus souvent pas autant d'argile et renferme un plus grand nombre de *Rhynchonella nucula* et de *Chonetes striatella*. J'ai trouvé quelques cailloux de ce calcaire, contenant en outre une grande quantité de bryozoaires, pour la plupart mal conservés; un individu pouvait être reconnu comme le *Fenestella* spec., décrit et représenté par Roemer, l. c., pag. 95, fig. 14.

Outre ces fossiles, j'ai encore trouvé un brachiopode, *Atrypa reticularis* L. spec., qui paraît être plus rare dans le calcaire à Beyrichies et qui n'est représenté dans notre collection que par un fragment; quelques exemplaires de *Tentaculites ornatus* Sow., et un *Cypricardia? philobeyrichia* Roem.

Beaucoup de ces calcaires contiennent le *Chonetes striatella* en si grande quantité qu'on pourrait l'appeler calcaire à *Chonetes* (Chonetenkalk). Ce brachiopode remplit la roche ou couvre sa surface décomposée en quantité tellement grande que les autres fossiles restent presque inaperçus: quelquefois des individus de *Beyrichia tuberculata* sont dispersés parmi les valves du brachiopode; dans quelques cailloux on voit aussi, parmi les *Chonetes*, des valves de deux autres brachiopodes, savoir: *Orthis canaliculata*, Lindstr. et *Rhynchonella nucula* L. spec.

J'ai également observé un individu d'une petite espèce de *Murchisonia* et quelques trochites, ressemblant à l'*Entrochus* spec., décrit par ROEMER, l. c., pag. 95.

Plusieurs variétés différentes de ces deux espèces de calcaires sont représentées dans ma collection; elles ne peuvent être déterminées ni comme du calcaire à Beyrichies typique, ni comme du véritable calcaire à *Chonetes*. Je ne puis pas donner ici une description détaillée de toutes les variétés que j'ai observées, vu l'absence totale de pièces de comparaison; il est en effet impossible de décrire ces roches d'une manière telle que les différentes variétés puissent être immédiatement reconnues. Aucune distinction précise entre ces deux espèces de calcaire ne peut être tracée; c'est ce qui se reconnaît aisément par une étude superficielle de tous les calcaires du Silurien supérieur de notre collection.

Je désire cependant faire ici mention d'une seule variété, ne pouvant pas être confondue avec un autre calcaire. C'est un calcaire gris-bleuâtre, plus ou moins cristallin, de couleur sale-gris ou jaunâtre à l'état décomposé et se trouvant dans ma collection sous forme d'un morceau aplati d'une longueur de 11 centimètres, et d'une épaisseur de

2 centimètres. Sur la surface décomposée on aperçoit, outre des fragments indistincts de *Chonetes striatella*, quelques individus de *Beyrichia tuberculata* et dans toutes les parties de ce calcaire se trouvent, assez régulièrement dispersées, des articulations de tiges de *Crinoides*, formées de chaux carbonatée jaune-rouge et donnant à ce calcaire un aspect extérieur taché. Avec ces trochites, parmi lesquels peuvent être reconnus *Entrochus astericus* et les deux *Entrochus* spec., décrits par ROEMER (l. c., pag. 94, n° 2 et pag. 95, n° 4), la surface contient, sur un des côtés aplatis, plusieurs empreintes de *Murchisonia* cf. *obsoleta* Sow. (ROEMER l. c., pag. 103, planche VII, fig. 8), espèce qui n'est pas rare dans le calcaire à Beyrichies.

Outre les calcaires décrits dans les pages précédentes et pouvant être désignés par le terme général de *calcaire à Beyrichies*, je n'ai pu découvrir qu'un seul caillou du *calcaire à Coraux* (Korallenkalk), si connu des géologues et si abondant dans le « Hondsrug » en Groningue; il a été trouvé sur la plage devant le Mirdumer Klif. C'est un calcaire jaunâtre, cristallin, contenant çà et là des parties argileuses et laissant voir sur la surface des tiges ramifiées d'*Alveolites repens*, MM. Edw. et Haime, espèce très commune dans ce calcaire.

ROCHES CRÉTACÉES.

Les roches de la formation crétacée ne sont pas moins nombreuses dans l'argile à blocs; des silex innombrables prouvent déjà que cette formation a beaucoup contribué à la constitution de la moraine inférieure de la région étudiée.

La première, d'une nature indubitablement crétacée, que j'ai trouvée aussi bien au « Roode » qu'au « Mirdumer Klif » et qui n'a pas encore été rencontrée dans le Quaternaire de notre pays, est une roche blanche, très fragile, d'un poids spécifique minime, et formée de différents spicules d'éponges siliceuses, liés par de la silice amorphe. Dans quelques endroits la silice s'est fortement concentrée et a formé ainsi des fragments anguleux, ressemblant parfaitement au silex intérieurement et renfermant les mêmes spicules.

Un savant, qui a fait une étude approfondie des éponges fossiles, M. GEORGE JENNINGS HINDE, a eu la bonté de soumettre cette roche à un examen minutieux et de déterminer les espèces principales qui ont pris part à la composition de la roche. Non seulement pour la connaissance des erratiques septentrionaux des Pays-Bas en général, mais spécialement aussi pour l'étude d'anciens sédiments, composés de restes d'éponges, j'ai attribué à la note que M. HINDE m'a envoyée un trop grand intérêt pour ne pas l'ajouter à cet essai (voir pag. 254).

Or, les observations intéressantes de M. HINDE montrent que les spicules ressemblent tellement à ceux des silex du Crétacé supérieur, qu'il n'est point douteux qu'ils ne soient originaires de cette formation, et comme les silex doivent, pour la plupart, être considérés comme originaires du Crétacé supérieur des environs de Rügen et des îles Danoises, il est donc fort probable que la glace a transporté chez nous la roche siliceuse de la formation crétacée de ces contrées. Cette origine a été clairement démontrée non seulement par la détermination des spicules d'éponges siliceuses appartenant à des espèces qui caractérisent les assises sénoniennes supérieures, mais aussi par la situation d'un morceau de cette roche dans l'argile à blocs du « Roode Klif » dans le voisinage d'un silex noir, qui, dans ses trous nombreux, renfermait les mêmes spicules (1). Que des spicules d'éponges aient fourni la matière pour la formation de ce silex cela n'est pas douteux, et les différentes conditions dans lesquelles les silex se sont trouvés lors de leur formation première, peuvent être facilement distinguées dans cet endroit. En effet, j'ai trouvé dans l'argile à blocs d'autres cailloux de même nature, dont quelques-uns représentent un stade plus avancé de formation du silex que la roche blanche, décrite ci-dessus. Tandis que dans la dernière les spicules les plus grands peuvent être distingués presque à l'œil nu, ils n'apparaissent, dans d'autres morceaux, que dans les coupes microscopiques. La plupart de ces fragments ne sont pas d'une couleur blanchâtre, mais plutôt grise. Ils sont très durs et montrent souvent des taches plus foncées, parties qui se sont déjà transformées en silex véritable.

Plusieurs de ces morceaux me rappelaient parfaitement le « Schwimmstein », qu'on doit regarder, suivant M. W. VAN DER MARCK, comme du silex n'étant pas encore tout à fait développé et s'étant probablement formé par la substitution de la silice au carbonate de chaux enlevé.

Les observations de M. HINDE fournissent les preuves de cette supposition, car l'examen microscopique de la roche siliceuse lui a fait reconnaître plusieurs corpuscules de forme sphérique, qui sont sans doute les noyaux de chambres de Foraminifères (une espèce de *Globigerina* s'y est trouvée en grand nombre), qui ont été remplis par la silice fournie par les spicules, et dont le test calcaire a été peu à peu dissous.

Sans doute, cette roche crétacée a éprouvé, de même que l'argile qui la renferme, l'influence de l'infiltration des eaux météoriques. En

(1) Voir ce Bulletin, Tome II, 1888, p. 130.

effet, la grande friabilité de quelques morceaux doit être attribuée en partie à des changements auxquels ils ont été exposés après leur introduction dans l'argile à blocs du « Roode » et du « Mirdumer Klif »; car, dans les conditions actuelles, ils n'auraient pu supporter un transport aussi lointain sous la glace.

Le silex de l'argile à blocs du « Roode » et du « Mirdumer Klif » est d'une nature très variable. Parfois les cailloux ont des dimensions assez considérables, ils sont plus ou moins anguleux, et montrent souvent des formes très étranges. Quelques morceaux de ma collection, au contraire, ont une forme sphérique et peuvent être désignés sous le nom de « Wallsteine » (Meyn); ils doivent cette forme arrondie, selon MARTIN (1) et WICHMANN (2), à l'action mécanique des eaux. Dans cet endroit également je n'ai trouvé ces silex arrondis que sur la plage.

Les silex de l'argile à blocs sont, pour la plupart, d'une couleur noirâtre et couverts d'une croûte blanche; d'autres, au contraire, possèdent des couleurs brunes, jaunes ou souvent grises. Beaucoup d'entre eux, surtout les variétés plus claires, sont tout à fait remplies de bryozoaires; un exemplaire contenait un *Pentacrinus Bronnii* Hag. — espèce très fréquente dans les couches crétacées de Rügen —, un autre renfermait un fragment d'épine cylindrique de *Cidaris*, garnie de pointes aiguës, rangées en lignes longitudinales très serrées, et qui ressemble fortement à l'épine de *Cidaris vesiculosus* Goldf. — espèce du Crétacé de la même région —, tandis que dans un troisième (du « Mirnser Klif ») se trouva une belle empreinte d'un *Pecten* resté indéterminé.

Mais ce ne sont pas seulement les silex, avec les roches siliceuses décrites, qui montrent que la formation crétacée a pris une large part à la formation de la moraine inférieure, dans l'argile à blocs, mais dans celle du *Roode Klif* seulement, se trouvent aussi des cailloux d'une autre roche, dont la nature crétacée n'est point douteuse.

Ce sont des calcaires, ordinairement plus ou moins aplatis, qui ne dépassent jamais 10 centimètres, et qui se distinguent immédiatement par leur couleur blanche, par leur surface, qui est couverte d'excroissances sphéroïdales et par la fine poudre, collant aux doigts, dont ils sont couverts. Cependant, quand on les brise, on voit que cette roche doit ces caractères à sa désagrégation, et qu'elle se compose en réalité

(1) K. MARTIN. Untersuchung über Astylospongia und Wallsteine in *Archiv. d. Vereins d. Freunde f. Naturgesch. Mecklenb.* xxxi. Het eiland Urk, etc. pag. 10.

(2) A. WICHMANN. Ueber Puddingstein (*Neues Jahrb. f. Min.* 1876, pag. 907).

d'un calcaire très compacte, d'une couleur blanc-jaunâtre, quelquefois gris-clair et d'une extrême dureté, renfermant çà et là un petit morceau de silex anguleux.

Ce silex est un élément de cette roche même, parce qu'il se montre aussi sur les surfaces des morceaux cassés ; la possibilité doit donc être exclue qu'il serait un des éléments de l'argile à blocs, pressé dans l'intérieur, comme on l'observe dans les parties superficielles décomposées de ces calcaires.

Ce calcaire est presque totalement privé de fossiles ; de longues recherches ne m'ont fait découvrir qu'un fragment de bivalve, probablement d'un *Inoceramus*.

Ainsi, bien que les caractères signalés ne laissent aucun doute quant à l'âge géologique de cette roche, il sera moins facile d'en fixer exactement l'horizon et par conséquent l'origine, sans des comparaisons nombreuses. Cependant, quand on compare, dans le bel ouvrage de ROEMER, les descriptions de différentes roches du Crétacé avec la nôtre, on remarque une grande ressemblance avec le calcaire de Saltholm, roche crétacée des îles Danoises de Saltholm et Amagar : la structure très compacte, la grande dureté, la couleur blanc-jaunâtre, la pauvreté en restes fossiles et enfin les concrétions de silice, sont tous des caractères du calcaire de Saltholm.

Pourtant je comprends le grand danger que l'on court en déterminant, au moyen de descriptions seulement, l'horizon géologique de roches qui ne contiennent pas de fossiles et qui ne présentent pas des caractères auxquels on puisse immédiatement les reconnaître ; mais je crois que nous pouvons admettre une telle origine avec une assez grande certitude, même sans comparaison avec des échantillons originaux.

D'ailleurs, la présence de cette roche dans la moraine inférieure des points considérés n'est point étonnante, attendu qu'il a déjà été démontré que les îles Danoises ont beaucoup contribué à la formation de ce dépôt intéressant de la côte méridionale de la Frise (1).

Après cette courte énumération des erratiques les plus intéressants de la moraine inférieure de la côte méridionale de la Frise, il y a encore une question qui doit être brièvement discutée : dans quelle partie de

(1) M. le Professeur BERNARD LUNDGREN, à qui j'envoyais récemment un échantillon de cette roche, m'écrit qu'il ne peut pas l'identifier avec le calcaire de Saltholm, et qu'il ne connaît dans la Suède aucune roche parfaitement analogue à notre calcaire.

la période diluvienne tous ces cailloux ont-ils été apportés dans la région étudiée ?

Or, M. K. MARTIN a démontré, il n'y a pas longtemps, dans son mémoire déjà cité, que, quoique le traité très intéressant de M. KLOCKMANN, intitulé : *Die südliche Verbreitungsgrenze des oberen Geschiebemergels und deren Beziehung zu dem Vorkommen der Seën und des Lösses in Nord-Deutschland* (1) nous oblige à admettre avec une grande probabilité l'absence de l'argile supérieure à blocaux des Allemands dans la partie occidentale de l'Allemagne septentrionale et dans les Pays-Bas ; la question consistant à savoir si l'argile à blocaux peut être regardée partout dans notre pays comme celle du premier manteau de glace, n'a pas encore été résolue d'une manière entièrement satisfaisante.

Je me rappelle combien j'ai été frappé en visitant pour la première fois le « Roode Klif », à l'occasion d'une étude du forage profond de Sneek, d'y trouver une argile à blocaux montrant des différences notables avec celle du sous-sol de cette ville, et combien je me trouvais alors disposé à expliquer ce phénomène, de même que la grande différence de niveau (25^m,93), qui existe entre ces deux argiles par une différence d'âge. Cependant, ma seconde visite à cette colline m'a appris que l'argile à blocaux, dans ses parties inférieures, ne se distingue point de celle provenant du sous-sol de la Frise ; plus tard, les deux forages profonds, exécutés à Sneek, ont montré l'existence, dans cet endroit, d'une seule moraine inférieure et j'ai fini par admettre ce phénomène pour la Frise toute entière.

Depuis ce temps j'ai suivi avec un grand intérêt la discussion entre M. MARTIN et M. LORIÉ concernant la présence d'une argile à blocaux *supérieure* dans notre pays, et je suis tombé d'accord avec M. MARTIN pour admettre que, malgré la probabilité de l'absence d'une moraine inférieure de la dernière glaciation des Pays-Bas, il n'existe pas encore de preuves évidentes de la réalité d'une telle opinion.

Pour notre pays il y a de la vraisemblance en faveur de l'opinion de M. MARTIN (2), attendu que les deux forages profonds de Sneek, qui pour M. LORIÉ ont décidé la question, ne peuvent pas être regardés comme des preuves de l'existence d'une seule moraine inférieure dans notre pays, parce que la possibilité n'est point exclue qu'au-dessus de l'argile à blocaux, à une profondeur de 15 mètres, il ait pu s'en trouver une seconde, qui plus tard aurait été détruite.

(1) *Jahrb. d. Kgl. preuss. geolog. Landesanstalt für 1883*,

(2) *L. c.*, pag. 20 et 21.

Pour moi aussi, l'absence dans le sous-sol de Sneek d'une seconde moraine a été un motif suffisant pour attribuer partout le même âge à l'argile à blocs dans notre pays (1) ; cependant j'avoue volontiers que je suis d'accord avec M. MARTIN, quand il prétend qu'au moyen d'un forage dans le voisinage d'Urk (en supposant que l'âge supradiluvien de l'argile à blocs de cette île soit prouvé), on pourrait rencontrer dans la profondeur l'argile à blocs inférieure, sans aucune trace de celle du diluvium supérieur.

Malgré l'opposition de M. LORIÉ (2), je suis encore d'accord avec M. MARTIN quand il n'applique pas ici la règle, généralement admise en géologie, d'après laquelle on suppose qu'une formation n'a pas existé, si l'on n'en trouve pas de trace ; car, comme M. MARTIN l'a démontré, tout en acceptant l'existence dans notre pays de deux glaciations, la présence d'une seule moraine peut être expliquée de différentes façons — surtout dans une contrée située sur la limite sud-ouest de l'ancien glacier continental.

Considérant ce problème comme un des plus intéressants de la géologie néerlandaise, pendant mes visites aux trois escarpements du « Gaasterland » j'ai surtout fait attention aux cailloux, qui pourraient éclaircir cette question difficile.

M. MARTIN, qui, dans son mémoire cité, parle amplement de ce sujet, a surtout fixé l'attention sur la présence sporadique, dans le Quaternaire des Pays-Bas, de roches du Silurien inférieur de l'Esthonie et a démontré que ces roches, ayant été autrefois pour DE GEER un motif d'admettre l'extension de la seconde époque glaciaire jusque dans nos parages, peuvent très bien y être apportées par de la glace flottante, après le déplacement des erratiques du Gothland et des contrées environnantes. Si cette hypothèse, que M. MARTIN éclaircit encore plus amplement, paraît pouvoir être admise sans objections importantes, « il sera peut-être possible de distinguer les deux argiles à blocs au moyen des cailloux qu'elles renferment, de même qu'on détermine déjà depuis longtemps l'âge des roches sédimentaires par des fossiles caractéristiques ».

Nous avons jugé utile de citer dans ces Bulletins l'opinion de M. MARTIN, parce qu'il ne l'a exprimée jusqu'ici que dans une publication périodique hollandaise, et parce que nous sommes aussi d'avis

(1) L. c., pag. 129.

(2) J. LORIÉ. Eenige opmerkingen naar aanleiding van « Hét eiland Urk » enz., door K. Martin. (*Tijdschr. v. h. kon. Aardrijksk. Gen. Versl. en Aardrijksk. Meded.* 1889. pag. 38.)

que des recherches comparatives très exactes faites sur les cailloux renfermés dans les deux argiles à blocaux, en différents endroits de l'Allemagne septentrionale, seront nécessaires pour pouvoir se former une opinion définitive sur cette question.

Maintenant, que pouvons-nous conclure de l'examen des cailloux de l'argile à blocaux de la côte méridionale de la Frise? Il nous est impossible de donner une réponse définitive à cette question; car nous avons démontré, qu'aussi bien de la Baltique que de la Scandinavie et des îles Danoises, des erratiques ont été apportés dans nos régions, et il est démontré que les cailloux, dont l'origine pouvait être fixée avec certitude, appartiennent tous à des roches, qui aussi bien pendant la première que pendant la seconde glaciation, ont pu être transportés par le glacier : le grès à scolithes doit être dérivé, suivant ROEMER, de la partie méridionale de la Suède; pour les calcaires à Beyrichies ce même auteur nous indique, comme pays d'origine, une contrée entre Schonen et Oesel, à présent couverte par la mer, tandis que l'origine des roches crétacées doit être cherchée dans les environs de Rügen et des îles Danoises.

Donc, quoique les cailloux que nous avons observés ne puissent provisoirement guère nous aider pour résoudre ce problème, il existe cependant des faits permettant de considérer l'argile à blocaux, partout dans la Frise, comme dérivant du premier manteau de glace.

En peu de mots j'ai déjà démontré la grande analogie qu'une étude plus exacte de la moraine inférieure de la côte méridionale de la Frise a établi avec celle que j'ai décrite du sous-sol de quatre différents endroits de cette province; la couleur jaune, souvent même presque rouge, de l'argile des escarpements du « Gaasterland » doit être sans doute attribuée à une oxydation des éléments ferreux, causée par l'infiltration des eaux météoriques dans ce dépôt superficiel, et nous n'avons pu découvrir non plus de différences notables quant aux cailloux renfermés en si grande quantité dans l'argile à blocaux. Celle du sous-sol de la Frise est aussi riche en calcaires du Silurien supérieur que celle du « Roode » et du « Mirdumer Klif » et la ressemblance par rapport à ces calcaires est même si grande, que, de même que dans la moraine inférieure sous Sneek — celui de tous les endroits, où nous avons pu étudier ce dépôt intéressant, qui est situé le plus près de l'Escarpement Rouge et dont notre collection contient de nombreux échantillons de différentes profondeurs — ils ne se trouvent accumulés que dans ses parties plus profondes (1).

(1) Comparez ce que j'ai dit dans ces Bulletins, l. c., pag. 126, de l'argile à blocaux sous Sneek avec mes communications à cet égard dans la page 231 du présent mémoire.

Comme il n'est donc point douteux que l'argile à blocaux des escarpements du « Gaasterland » se soit formée dans la même partie de l'époque Quaternaire que celle du sous-sol de la Frise, il s'ensuit de là en même temps la détermination de l'âge de la moraine inférieure de ces trois hauteurs, parce que la moraine sous Sneek doit être considérée comme appartenant au diluvien inférieur à cause de sa superposition sur du gravier rhénan (formation préglaciaire) — détermination sur laquelle M. MARTIN et M. LORIÉ sont aussi d'accord.

Non seulement la grande épaisseur de la moraine inférieure dans presque tous les points de la Frise, où j'ai pu démontrer l'existence de ce dépôt, est un argument en faveur de mon opinion, mais celle-ci est appuyée aussi par ce que M. MARTIN fait remarquer au sujet de l'argile à blocaux d'Urk à propos des fragments de lignite renfermés dans les parties inférieures de cette formation, qui possède une si grande ressemblance avec l'argile à blocaux du « Gaasterland ».

Ayant donc essayé de prouver que ni la couleur, ni la composition, ni les cailloux de la moraine inférieure dans le sud-ouest de la Frise ne sont des motifs pour attribuer à cette formation un âge plus récent que celui de la moraine inférieure dans le sous-sol de cette province, il nous reste encore à citer un phénomène qui, avant mes recherches plus détaillées, semblait prouver un âge supradiluvien de l'argile à blocaux des escarpements du « Gaasterland », savoir : la grande différence de niveau entre ces deux argiles (voir page 244).

Dans mon article précédent paru dans ces Bulletins, j'ai démontré que, pendant la période diluvienne cette province a été soumise à des oscillations du sol assez considérables et il est prouvé qu'avant l'approche du premier manteau de glace, une baie de la mer du Nord s'est étendue jusqu'à la ville de Sneek. Le forage de 40 mètres de profondeur, exécuté par M. l'ingénieur H. P. N. HALBERTSMA à Oenkerk, au nord de Leeuwarden, a montré que, pendant ce temps, toute la Frise n'était pas couverte par la mer ; car on trouve en cet endroit, à une profondeur de 2^m,20 à 5 mètres, une argile à blocaux, qui dans les plus petits détails ressemble à celle se trouvant dans le sous-sol de Sneek et qui s'est déposée sur une formation sableuse fluviale, épaisse de 37^m,20 (1) et appartenant sans aucun doute au Quaternaire glaciaire stratifié.

Or, si nous comparons les limites de profondeur sous le niveau de la mer de ces deux dernières argiles, qui sont :

(1) Voyez la planche IV, appartenant à mon article déjà cité.

Argile à blocaux sous Sneek.	de 14 ^m ,42 à 24 ^m ,42.
» » » Oenkerk.	de 1 ^m ,57 à 4 ^m ,17.

la différence de niveau assez considérable, qui existe entre l'argile à blocaux du « Roode Klif » et celle dans le sous-sol de Sneek, n'est plus un obstacle pour identifier la moraine inférieure des escarpements du « Gaasterland » avec celle du premier manteau de glace. D'ailleurs on sait que ces différences considérables de niveau ont été également observées dans d'autres contrées, où l'argile inférieure à blocaux est développée, et qu'elle forme le caractère essentiel du « *paysage morainique* ».

Maintenant, j'ai tâché d'élucider les phénomènes les plus intéressants, qui m'ont fait considérer le sol dont sont constitués les trois escarpements du « Gaasterland », comme la moraine inférieure du premier manteau de glace scandinave et il me reste encore à rechercher les changements qui ont eu lieu dans cette contrée après le dépôt de cette moraine.

Toute la configuration du sol dans cette partie des Pays-Bas nous montre clairement que la moraine inférieure a couvert jadis une surface beaucoup plus grande, et qu'elle a été exposée à une érosion considérable. Il n'est point douteux, en effet, que les escarpements du « Gaasterland » n'aient été autrefois unis les uns aux autres, et que de même une liaison plus ou moins certaine avec les îles d'Urk, de Texel, de Wieringen, avec le « Hondsrug » en Groningue et avec la colline de Koudum dans la Frise, a existé — opinion que M. LORIE admet aussi. (« Contributions ». II, pag. 99.)

Cependant nous ne pouvons pas accepter que c'est la mer qui a effectué la séparation de toutes ces collines; car, bien que l'histoire nous apprenne que le « Roode Klif », ainsi que les deux autres escarpements s'avançaient, il n'y a pas longtemps, beaucoup plus avant dans la mer, la situation des formations récentes par rapport à la moraine inférieure ou au Quaternaire glaciaire non stratifié, nous fournit la preuve que la séparation de ces collines avait déjà eu lieu avant la formation de la glaise marine; et nous ne saurions douter que l'Escarpement Rouge ne se soit présenté, avant son état actuel, sous la forme d'une colline, s'élevant au milieu d'un terrain plat, formé de glaise marine et de tourbières, de même que les îles d'Urk, de Wieringen et de Texel, et comme la colline de Koudum se montrent encore de nos jours.

Une étude du terrain plat qui s'étend à partir du pied de la

pente douce du « Roode Klif » et qui sert de pâturage donne immédiatement la preuve d'une telle supposition : une argile, le plus souvent très ferrugineuse, s'étend jusqu'au pied de l'escarpement, qui n'est donc pas entouré de tourbières basses, comme STARING l'a indiqué sur sa carte géologique des Pays-Bas ; dans ses parties inférieures, cette argile est partout d'une couleur bleuâtre et renferme un grand nombre de coquilles (p. ex. *Cardium edule* L.) appartenant à des espèces qui vivent encore sur nos côtes. Cette formation se sera sans doute étendue plus vers le Sud, dans un temps où le « Zuiderzee » n'existait pas encore, et aura été reliée aux tourbières basses, qui remplissaient autrefois une grande partie de ce bassin.

Un forage effectué dans ce terrain plat m'a appris que les couches alluviales reposent, comme partout dans notre pays, sur du « Zanddiluvium », que l'on peut suivre sur la pente douce de l'Escarpement, même jusqu'à une courte distance de son bord supérieur, et qui montre, comme dans la plus grande partie des Pays-Bas, un caractère fluvial. La séparation des collines susdites pendant la formation du « Zanddiluvium » est donc immédiatement indiquée par la disposition relative des différentes formations.

Une question plus difficile à résoudre est la manière dont cette séparation a eu lieu — problème qui est lié intimement avec la question du mode de formation de ce dépôt postglaciaire.

On a tâché de fournir de différentes manières l'explication de l'origine de ce sable. Il est notoire que STARING attribua sa formation à l'eau de pluie découlant des collines environnantes ; M. LORIÉ a récemment expliqué l'origine de ce sable comme un dépôt fluvial, principalement du Rhin et de la Meuse, fleuves qui, pendant la retraite du glacier, devaient transporter dans nos parages des sédiments plus grossiers que dans la période actuelle (1) ; enfin BERENDT et MEYN ont identifié notre « Zanddiluvium » avec le sable des bruyères (Haidesand) qu'ils considèrent comme une formation déposée pendant la retraite de la glace, par les eaux de fonte (2), explication que M. MARTIN admet aussi dans son traité sur l'île d'Urk.

Cependant, plus tard, M. LORIÉ (3) a attribué aussi aux deux autres

(1) J. LORIÉ. Quelques considérations sur le sable campinien et sur le diluvium sableux (*Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrog.* T. II, 1888, pp. 93-100).

(2) Bericht über eine Reise nach Niederland (*Zeitschr. d. deutsch. geolog. Gesellsch.* 1874, p. 309).

(3) Eenige opmerkingen naar aanleiding van « Het eiland d'Urk », enz., (*Tijdschr. v. h. Kon. Ned. Aardr. Gen.* 1889. *Versl. en Meded.*, p. 45.)

influences un rôle pendant la formation du « Zanddiluvium » et je crois qu'on ne pourrait contester la vraisemblance de ses considérations, prises dans un sens aussi large.

Sans doute le Rhin et la Meuse ont eu, pendant la retraite du glacier, une faculté de transport beaucoup plus grande qu'à présent et ont dû apporter du sable là où ils ne déposent actuellement que de l'argile, et ainsi ces rivières ont pu provoquer le dépôt du « Zanddiluvium » des parties centrales et méridionales de notre pays, comme M. LORIÉ l'a clairement démontré.

Pour le Zanddiluvium des provinces septentrionales, qui se trouvaient plus près du centre glaciaire, nous devons cependant admettre l'hypothèse énoncée par BERENDT et MEYN. Le territoire du diluvium scandinave n'est pas traversé par de grandes rivières et les ruisseaux qu'on y trouve, comme le Tjonger, le Linde, le Steenwijker, etc., etc., sont évidemment les restes de courants plus considérables, qui prenaient leur source au glacier scandinave pendant sa retraite — hypothèse, qui s'accorde parfaitement avec leur cours du N-E au S-O (1).

La différence d'origine entre le « Zanddiluvium » des provinces septentrionales et celui des parties centrales et méridionales de notre pays explique également la moindre épaisseur que ce dépôt possède dans le territoire recouvert par le diluvium scandinave.

Maintenant, dans toute la contrée occupée par la dernière division du Quaternaire des Pays-Bas je ne connais aucun endroit où une telle origine du « Zanddiluvium » soit aussi évidente qu'à l'Escarpement Rouge. Déjà, à une distance de 28 mètres de son bord supérieur, la pente douce de cette hauteur se compose d'un sable stratifié, dont je n'ai pas atteint la limite inférieure lors d'un forage de 4 mètres effectué en ce point, et qui, à une distance de 200 mètres de ce bord, descend sous le terrain plat, formé de glaise marine.

La grande épaisseur de cette formation sableuse paraît encore plus évidente par l'étude du côté oriental du versant escarpé, qui ne montre dans toute sa hauteur que du sable fin stratifié, sans aucune trace de la moraine inférieure. Un peu plus vers l'Ouest, nous voyons clairement ce sable (B dans la figure IV) reposer sur du sable non stratifié à grains anguleux (A), contenant beaucoup de cailloux irrégulièrement disper-

(1) M. LORIÉ a adopté également cette hypothèse dans ses « Contributions » III, l. c. où il traite très amplement du « Zanddiluvium ». Il n'a pas mentionné cette influence dans les pages qu'il a consacrées, dans ces Bulletins, à ce dépôt ; ce qui doit — comme il l'a déclaré lui-même — être attribué à son désir de prouver aussi clairement que possible l'influence de nos grandes rivières sur la formation du « Zanddiluvium ». (*Eenige opmerkingen enz.*, p. 45)

sés « Geschiebesand », et passant insensiblement, vers l'Ouest, à l'argile à blocs. Que cette partie B de l'escarpement soit d'une tout autre nature que le reste du « Roodde Klif », c'est ce que démontrent déjà le genêt sauvage dont elle est couverte et les trous nombreux que les lapins y ont creusés. Ce sable B doit donc être considéré comme un produit de lavage de la moraine inférieure, ce qui est encore prouvé par sa parfaite analogie avec le sable qu'on obtient en lavant un morceau de l'argile à blocs et surtout par les nombreux spicules d'éponges siliceuses qui y sont mêlées à quelques niveaux et qui ressemblent tout à fait aux spicules de la roche siliceuse crétacée, décrite plus haut.

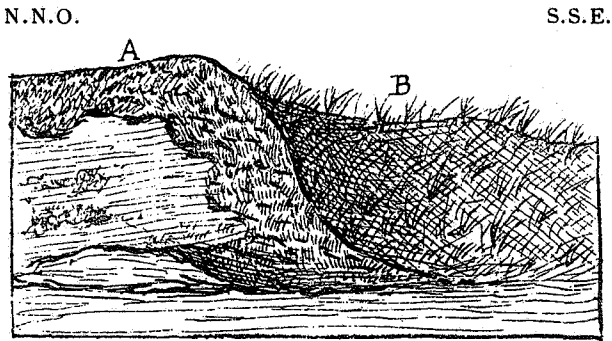


FIG. IV.

Puisque le « Zanddiluvium » de cet endroit n'a pu être déposé par une rivière et puisque son épaisseur est trop grande pour faire penser à des pluies violentes, il ne reste que les eaux de fonte du glacier, pendant sa retraite, pour en expliquer l'origine.

Dans le voisinage du « Mirdumer Klif » nous observons de même l'influence des eaux de fonte du glacier, pendant sa retraite, sur la configuration du sol. Quand nous parcourons les belles collines du « Gaasterland » du nord au sud, nous arrivons dans la plaine, après avoir longé le « Steendollensvaart ». En continuant de là notre route dans la même direction, nous voyons, après avoir traversé un chaînon sableux, légèrement arrondi, dirigé du N-O au S-E — donc parallèlement au « Mirdumer Klif » — et couvert de champs de blé, s'étendre entre les villages Oude et Nye-Mirdum une vaste prairie, qui monte lentement jusqu'au bord du « Mirdumer Klif ». Dans cette plaine, où quelques fermes rompent l'aspect monotone du site, sont dispersés de nombreux erratiques, parmi lesquels se trouvaient encore des cal-

caires siluriens, dont nous voyons le nombre s'augmenter en nous approchant de l'escarpement; de plus, nous apercevons quelques flaques d'eau circulaires (nous en avons compté cinq) d'un diamètre de 5 à 10 mètres. Or, la situation de ces lacs en miniature ressemble géologiquement aux bassins que l'on trouve en grand nombre sur les plateaux de l'Allemagne septentrionale et qu'on y nomme « Seënplatten »; les habitants de cette contrée les considèrent comme un phénomène étrange et inexplicable; quant à nous, nous ne pouvons douter que la formation de ces petits lacs se soit effectuée pendant la fonte du glacier scandinave.

Nous avons donc dans le sud-ouest de la Frise une répétition en miniature de ce que l'on observe dans l'Allemagne septentrionale sur une plus grande échelle. Après la retraite du glacier les phénomènes d'érosion ont commencé leur œuvre, de sorte que le *paysage morainique* a été considérablement modifié; les éléments plus fins ont été transportés aux endroits plus bas et ont donné naissance au « Zanddiluvium » qui entoure les collines du « Gaasterland » et qui se continue dans une direction septentrionale et occidentale sous les couches alluviales, tandis que d'une part les cailloux plus grands restaient en place sur le sommet des collines et pendant que d'autre part l'eau de fonte formait, par érosion, des cavités en forme de bassin, qui se remplissaient d'eau restée en arrière.

Ainsi les observations faites près des escarpements, sur la côte méridionale de la Frise, nous conduisent à conclure que le *sable à erratiques* (« Geschiebesand »), la *couverture d'erratiques* (« Geschiebebestreuung ») et le « Zanddiluvium » doivent être réunis comme les produits d'une même action, ainsi que M. BERENDT l'a démontré (1) de même que M. MARTIN, qui a fixé l'attention sur ce qui s'est passé dans notre pays (2).

Il n'est donc point douteux, qu'avant que les eaux de fonte du glacier en retraite eussent commencé à éroder les dépôts morainiques, le « Roode Klif » a été uni au « Mirnser » et au « Mirdumer Klif » et nous pouvons admettre que ce chaînon, dirigé du N-N-O au S-S-E, s'étendait encore jusqu'au « Voorst », l'escarpement déjà nommé sur la côte de l'Overijssel. Ce chaînon pourrait être considéré, de même que le « Hondsrug » en Groningue comme une *moraine frontale* (3), à cause

(1) Die Sande der norddeutschen Tieflande und die grosse diluviale Abschmelzperiode (*Jahrb. d. Kgl. preuss. geol. Landesanstalt* 1882, p. 482).

(2) L. c., p. 36.

(3) Cette moraine frontale doit être formée par un accroissement considérable de la moraine inférieure pendant un arrêt dans la retraite du glacier — hypothèse

de sa direction, qui est perpendiculaire à la direction de transport des erratiques, et il est même probable qu'il existe dans cette contrée, comme dans la province de Drenthe, plusieurs moraines frontales, situées les unes près des autres — ce que nous pouvons conclure du chaînon arrondi déjà nommé, qui s'étend parallèlement au « Mirdumer Klif » et que nous regardons comme le reste d'une seconde moraine frontale, fortement dénudée par les eaux de fonte du glacier.

Quoique j'aie essayé de démontrer que la séparation du « Roode Klif » n'a pas été causée par la mer, mais qu'elle doit être attribuée aux eaux de fonte du glacier en retraite, il est certain que la moraine a été exposée à l'action destructive de l'eau de mer dans des temps beaucoup plus récents. Du temps du dépôt de l'argile marine, qui entoure le « Roode Klif », la mer n'a pu fortement attaquer cette colline, parce qu'il faut au dépôt de cette argile une eau tranquille. (On s'explique cependant facilement pourquoi cette argile est mêlée çà et là de sable et de gravier vers la proximité de l'escarpement.)

Après la formation des tourbières qui couvrent une grande partie du « Westergoo », et qui s'étendent çà et là sous l'argile jusqu'au pied du « Roode Klif » tourbières qui remplissaient en grande partie le « Zuiderzee », et après que l'argile marine se fut déposée — ce qui changea une grande partie de la Frise en pâturages fertiles — la mer entra de nouveau dans les terres et atteignit les collines du « Gaasterland » ; le travail de destruction commença alors et une grande partie de la moraine fut enlevée, jusqu'à ce que l'homme intervint et empêcha une destruction complète par des travaux définitifs.

Nous voilà donc arrivés à la situation où se trouvent de nos jours les escarpements du « Gaasterland ». A cause de la destruction continuelle, produite par les eaux de pluie et de neige, on songe à raser le « Roode Klif » et à faire une digue artificielle en cet endroit ; dans ce cas un des points les plus remarquables du sol de la Frise disparaîtra, mais nous trouverons en même temps une belle occasion d'étudier avec plus d'exactitude que jusqu'ici la structure de la moraine. Puissent les données géologiques, que j'ai tâché de rassembler sur la côte méridionale de la Frise, contribuer à résoudre les questions qui existent encore à l'égard du Quaternaire Néerlandais.

Sneek, 30 Juillet 1889.

qui nous explique en même temps la grande épaisseur de la moraine inférieure en un endroit si élevé. (Voir : *Quelques observations sur le Quaternaire ancien*, etc., l. c., p. 120).