

Trois phases de l'exploration arctique

Autor(en): **Wegmann, Eugène**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **74 (1951)**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-88813>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

TROIS PHASES DE L'EXPLORATION ARCTIQUE

par

EUGÈNE WEGMANN

	Pages
Introduction	107
L'exploration topographique et géographique (des cartes d'itinéraires à la photogrammétrie, du point de sondage à l'enregistrement de coupes topographiques sous-marines; revers de la médaille).	108
L'investigation des masses en mouvement (deux exemples : <i>a</i>) les courants marins et le bilan des bassins arctiques ; <i>b</i>) l'évolution des connaissances sur l'inlandsis du Groenland ; compa- raison ; changements climatiques).	109
La reconstruction des mouvements dans l'espace et dans le temps géologique . (l'histoire de la nature arctique et sa reconstitution ; les méthodes ; les données : sur terre ferme, au fond des mers ; possibilités d'avenir).	115

INTRODUCTION

Celui qui s'est engagé dans des recherches spéciales doit, de temps à autre et avec un certain recul, essayer de dégager les grandes lignes du développement des méthodes ; il doit de même savoir jeter un coup d'œil d'ensemble sur les résultats acquis. Ainsi, se rendant compte des tendances actuelles et prévoyant les tendances futures, il peut envisager de nouvelles investigations et préparer des projets rationnels. Une vue d'ensemble de ce genre peut être comparée au panorama que donne un point de vue élevé plus ou moins en retrait par rapport aux montagnes qui barrent l'horizon ; cette vue d'ensemble ne doit pas être confondue avec un bilan. Le panorama montre les objets sous un angle déterminé par la situation de l'observateur. Certaines formes lui apparaissent en relief, d'autres s'estompent et se confondent, d'autres, il va de soi, restent invisibles. Malgré ces réserves, un rapide tour d'horizon de ce genre peut être utile, s'il fait apparaître des lignes générales dans certains secteurs et permet de placer les recherches spéciales dans un cadre plus grand. Le recul laisse parfois deviner les directions que prendront les futures recherches.

De nombreux récits de voyages présentent l'histoire des explorations arctiques comme une suite d'aventures et de compétitions. En essayant de considérer cette histoire sous un autre angle, on distingue nettement trois phases principales, caractérisées par des différences fondamentales. S'il n'est guère possible de les séparer exactement au point de vue chronologique, parce qu'elles se superposent partiellement, l'on peut cependant voir, *grosso modo*, la succession de leurs stades les plus caractéristiques. La distinction de ces phases offre cet avantage qu'elle permet de rassembler la somme des recherches et des connaissances en trois groupes qui se *distinguent par les dimensions* qui entrent en jeu. Nous exposerons ici brièvement les traits principaux de chaque phase de l'évolution et nous esquisserons quelques perspectives suggérées par cette vue d'ensemble.

La première phase correspond à

L'exploration topographique et géographique

Depuis les premiers grands voyages des Vikings, à partir des VIII^e et IX^e siècles jusqu'à ces dernières années, les « taches blanches » de la carte des régions polaires n'ont cessé de se rétrécir. L'aviation et la photogrammétrie permettent actuellement de construire en peu de temps des cartes topographiques de régions autrefois inaccessibles. Cette phase aboutira sous peu à intégrer la connaissance topographique et géographique de la calotte polaire dans l'image générale de la terre.

Les explorations entreprises d'abord dans un but utilitaire (colonisation, pêche, navigation, etc.) ont changé de caractère à la fin du siècle dernier et au commencement de ce siècle ; elles ont souvent eu pour objet la recherche désintéressée pour laquelle tout au plus la compétition pacifique entre les nations jouait un rôle. Depuis une quinzaine d'années, le caractère d'une grande partie de l'exploration arctique a de nouveau changé d'aspect : d'une part des raisons stratégiques ont abouti à créer des régions militaires interdites aux civils, dont les cartes détaillées ne leur sont même pas accessibles ; d'autre part un particularisme, nouvellement éveillé, a réussi à imprégner l'esprit de certains hommes de science (même dans des pays situés en dehors du rideau de fer), de sorte qu'ils ont prié leur gouvernement d'entourer leurs terrains de recherches d'un cordon policier. On assiste donc à un curieux phénomène : les barrières autrefois infranchissables qu'opposaient les conditions naturelles peuvent actuellement être vaincues grâce aux progrès techniques ; en revanche l'homme crée des cloisons qu'il essaye de rendre aussi insurmontables que possible.

On distingue deux stades dans cette phase d'exploration topographique : le *premier* est caractérisé par les voyages à pied, à ski, en traîneau et par bateau, ainsi que par des levés topographiques le long du trajet. C'est l'âge des cartes *d'itinéraires*. L'introduction de l'aéro-photogrammétrie (ZELLER, 1939) a permis de saisir le relief de vastes contrées en peu de temps et inauguré le *second* stade. Une évolution ana-

logue se dessine pour le levé du relief sous-marin en ce sens que la détermination des *points* de sondage est remplacée par l'enregistrement de *lignes* de sondage. Grâce à ces perfectionnements, le relief terrestre et sous-marin de la zone arctique est connu dans ses grandes lignes. Des détails s'ajoutent chaque année, transformant les contours parfois rudimentaires en un modelé de plus en plus riche en traits individuels.

La seconde phase est caractérisée par

L'investigation des masses en mouvement

Le but de cette phase est, d'une part, de constater les mouvements et les changements d'état à l'intérieur de la région polaire et, d'autre part, d'établir le bilan des masses et des énergies à l'entrée et à la sortie de la zone arctique. Deux exemples montreront les tendances et les méthodes de ces recherches.

Les premiers mouvements de masses, étudiés dans la zone en question, étaient *les courants marins*, Gulf-stream et courants polaires. Des synthèses basées sur les observations des baleiniers furent publiées à partir de 1723 (ZORGDRAGER). Un fait important qui semblait être contraire aux constatations faites dans les autres mers fut remarqué en 1773 par IRVING dans les eaux du Spitzberg ; il s'agit de l'augmentation de la température des eaux avec la profondeur. L'étude des courants marins devint plus intense pendant le XIX^e siècle et le nombre des publications augmenta. Les vues embrassèrent de plus en plus l'ensemble des faits ; on se servit des mesures de la salinité et des températures pour étudier la structure des masses d'eau et leurs mouvements. Parmi les travaux du commencement du siècle, nous citerons ceux de W. A. GRAAH (1828-1831) qui constata le crochet du courant polaire autour du Groenland méridional et les observations des SCORESBYS sur le courant du Groenland oriental. Le milieu du siècle est marqué par la découverte du courant d'IRMINGER (1853) dans les eaux islandaises et la mémorable synthèse de PETERMANN (1865). L'intérêt croissant manifesté par les pays scandinaves pour l'océanographie est attesté par les travaux de MOHN, de RYDER, d'O. PETTERSSON et surtout par la mémorable expérience de la dérive du *Fram* (1893-1896) sous la direction de Fritjof NANSEN.

RYDER eut le mérite de démontrer la présence d'eaux plus chaudes sous le courant froid du Groenland oriental et d'établir leur relation avec les eaux atlantiques (1895, p. 200-204).

Les recherches de ce siècle n'ont pas seulement précisé le cheminement des courants principaux et accessoires, mais aussi leur épaisseur, leur vitesse et la composition de leurs eaux. Ces données ont permis d'établir des bilans portant sur les eaux qui entrent et qui sortent de la mer scandinave et de l'océan arctique (cf. KIILLERICH, 1945 ; JAKOBSEN, 1942).

Le seuil des Shetlands et des îles Féroé, d'une profondeur d'environ 500 m, laisse passer en moyenne 4 à 4,5 millions de m³/sec d'eau venant

de l'Océan atlantique et se dirigeant vers la mer scandinave ; plus de la moitié de cette masse est de l'eau « atlantique », d'une température de $10^{\circ},2$ et d'une salinité de $35,40 \text{ ‰}$. La masse transportée diminue dans la coupe du cap Stad (Norvège occidentale) à 3,8 millions de m^3 et au large des Lofoten à 2,3 millions de m^3 . Une partie du courant se dirige vers la mer de Barentz, une autre se divise en plusieurs branches secondaires dans les eaux du Spitzberg. Les nombreuses observations faites par les expéditions océanographiques et les équipes des bateaux de surveillance appartenant à diverses nations ont permis à JAKOBSEN (1942) de calculer ce qu'il appelle « l'épaisseur équivalente des eaux atlantiques » ; en délimitant les aires avec des épaisseurs équivalentes d'eau « atlantique » de 200 m, 150 m, 100 m, 50 m et 0 m, et en planimétrant ces surfaces, cet auteur a pu évaluer le volume de la composante « atlantique » à 181.000 km^3 . En admettant un apport de $6,6 \text{ km}^3$ par heure, ce volume serait à peu près renouvelé en trois ans.

Le courant du Groenland oriental est *l'émissaire principal* du bassin arctique transportant 1,5 à 2 millions de m^3/sec ; le *second émissaire* écoule, par le détroit de Davis environ 1 million de m^3/sec . Les précipitations et l'apport par le drainage terrestre sont estimés à 0,1 à 0,3 million de m^3/sec . Les quantités entrant par le détroit de Behring et les parties profondes du seuil de Nansen ne sont pas connues. A ces émissaires correspond un apport « atlantique » (par la mer de Barentz et les eaux du Spitzberg) d'environ 2 millions de m^3/sec .

Ce petit résumé, nécessairement très schématique, essaie de montrer comment on est arrivé, à partir de l'observation des courants, à établir les bilans des masses d'eau, des quantités de chaleur transportées et celles des corps dissous. Sur ces résultats se greffent les questions concernant la formation, la disposition et la circulation des glaces marines, ainsi que celles de leurs fluctuations au cours de l'année (cf. LAUGE KOCH, 1945). D'autres problèmes sont reliés aux précédents, tels que ceux des changements de trajet des courants, des variations de leur épaisseur, des différences de répartition des eaux « atlantiques » au cours des années et une foule d'autres questions.

En suivant cette évolution, on constate une interdépendance étroite entre l'évolution des idées embrassant de plus en plus l'ensemble des faits, le développement de l'organisation et des méthodes techniques. Commencant par l'observation des courants à la surface, l'étude s'est étendue aux trois dimensions de l'espace ; l'ensemble fut considéré comme un système physique, dont les données et les variables peuvent être contrôlées par des sondages et des coupes grâce à une organisation internationale, aux moyens de transport mis à disposition et à une technique appropriée et standardisée.

Le deuxième exemple montre une structure et une évolution un peu différente : la connaissance de *l'inlandsis du Groenland* a commencé par l'étude des émissaires. L'intérieur du continent resta longtemps inconnu. Il fallut d'abord fixer les limites des glaces, déterminer les altitudes de l'inlandsis et la nature de sa surface. L'exploration topographique de quelques secteurs pendant le siècle passé permit de se faire une idée

de l'appareil glaciaire. Vers la fin du siècle, on essaya d'estimer l'épaisseur des glaces. Les estimations étaient basées sur des indices, des analogies avec les calottes glaciaires scandinaves et des considérations dynamiques hypothétiques. La plupart des auteurs admettaient sous l'inlandsis un large bouclier rocheux sur les pentes duquel les glaces glissaient vers les régions marginales. Les estimations de l'épaisseur, basées sur cette hypothèse, étaient de l'ordre de grandeur d'un millier de mètres. Les mesures séismiques de l'expédition d'Alfred WEGENER en 1931 (cf. BROCKAMP, SORGE & WELCKEN, 1933) ont montré pour la première fois que l'inlandsis occupait une cuvette et s'écoulait en partie par des cols vers les vallées extérieures et les fjords.

Les méthodes séismiques sont devenues depuis le temps de WEGENER d'un usage courant pour déterminer l'épaisseur des couches terrestres, surtout en ce qui concerne la prospection du pétrole (cf. MINTROP, 1950). On compte actuellement plus de 520 équipes spécialisées dans les mesures séismiques aux U.S.A. ; les dépenses pour ces recherches s'élèvent annuellement à environ 120 millions de dollars. Appliquer les progrès de la technique à l'exploration de l'inlandsis était une des tâches les plus tentantes ; aussi M. Paul-Emile VICTOR l'a-t-il inscrite comme l'un des buts principaux des Expéditions polaires françaises. Celles-ci ont exécuté plusieurs séries de mesures au cours des dernières campagnes, et ont, entre autres, dressé un profil transversal pouvant fournir des bases à une nouvelle estimation du *volume des glaces* selon cette tranche.

La détermination de plus en plus exacte des surfaces-limite représente un progrès important ; mais elle ne peut donner son plein rendement que si l'on tient compte des *fonctions* des différentes parties de la surface. Ce sont : dans la région supérieure, les plans d'accroissement ; la surface formant la limite entre le névé et l'air est formée d'une série de plans successifs, recouverts par chaque chute de neige et se déplaçant de cette façon vers l'intérieur de l'inlandsis ; ces plans sont donc métachrones. Les aires d'ablation se composent, de leur côté, d'une série de surfaces métachrones se déplaçant vers l'intérieur des glaces. Les relations entre ces deux séries métachrones sont complexes.

Les premiers chercheurs tels que I. A. JENSEN, RINK, NORDENSKJÖLD, NANSEN et EBERLIN commencèrent à discuter le métabolisme de l'inlandsis. RINK (1877, 1888) s'est proposé d'évaluer la production des icebergs au Groenland. Il a estimé par comptages la quantité produite par les quatre glaciers les plus productifs du Groenland occidental : les valeurs (qu'il estime inférieures aux vraies quantités) varient entre 27.000 et 58.220 millions de m³ par an ; pour se faire une idée du bassin de réception, RINK a converti ces chiffres en précipitations de la manière suivante : ils correspondraient à 46 à 98 mm de précipitations sur 1000 milles-carré (56.788 km²). L'estimation des icebergs a été reprise de 1928 à 1935 sous la direction des U. S. Coast Guard.

Après sa traversée du Groenland à ski, en 1888, NANSEN pose la question suivante (dans le chapitre sur les résultats scientifiques) : Quelles forces empêchent l'inlandsis d'augmenter en épaisseur ? Il sou-

ligne que les causes ne doivent pas être cherchées à la surface ; les conditions de profondeur doivent être à la base de toute explication ; la pression transformant la neige en glace plus ou moins plastique la fait couler vers les régions marginales où elle fond ou donne naissance à des icebergs. NANSEN pense que la fusion par la base est un facteur important ; les sources d'énergie thermique seraient, d'une part, le courant calorifique terrestre, d'autre part, la chaleur produite par la friction sur le fond. La possibilité d'établir un bilan était ainsi entrevue.

J.-P. KOCH et WEGENER (1930) ont cherché à définir les conditions du métabolisme de l'inlandsis d'une façon plus précise et se mirent à exécuter un vaste programme de mesures et d'observations. Ils ont introduit une distinction fondamentale entre le type des glaciers gelés arctiques et celui des régions tempérées et tropicales, dont la température est voisine du point de congélation. KOCH et WEGENER soulignèrent l'importance du bilan des gains et des pertes ; nous devons à l'ingéniosité de ces savants plusieurs méthodes nouvelles. Lors de leur traversée de l'inlandsis de 1912 à 1913, ils établirent de nombreuses coupes pour mesurer l'accroissement annuel du névé et observer la transformation de la neige dans les conditions de basse température (KOCH et WEGENER, 1913, 1930). La technique de forages dans l'inlandsis, permettant d'obtenir des séries de carottes suffisamment longues afin de suivre la transformation de la neige en glace, constitue actuellement encore, l'un des problèmes les plus délicats.

Ces recherches furent poursuivies par l'expédition de WEGENER (1930-1931) et complétées par des observations minutieuses à la station Eismitte (SORGE, 1932), première station d'hivernage au centre de l'inlandsis. En se basant sur les données des dernières expéditions et en réunissant toute la documentation antérieure, LÖWE (1936) a établi en une admirable synthèse le premier bilan des gains et pertes de l'inlandsis.

Les Expéditions polaires françaises créèrent en 1948 une seconde station Eismitte ; leurs observations continues de 1948 à 1951 fournissent des données de base pour l'établissement de nouveaux bilans. Elles montrent que les conditions météorologiques varient beaucoup d'une saison à l'autre. Les observations météorologiques sont complétées par des sondages glaciologiques exécutés par notre compatriote M. Michel PÉREZ. L'étude de la stratification du névé permet d'estimer l'accumulation annuelle pour un certain nombre d'années en arrière. En reliant les observations des Expéditions polaires françaises à la série mesurée par l'expédition WEGENER s'étendant de 1911 à 1931 (cf. SORGE, 1932, 1935), il sera possible, au moins pour la région centrale, de reconstituer la cadence de l'accumulation pendant les quarante dernières années.

Ces données ne sont toutefois valables que pour le régime des stations Eismitte et ne sont caractéristiques que pour une tranche limitée. Les anciens observateurs, déjà, ont distingué trois zones à régime assez différent, une méridionale, une centrale et une septentrionale (cf. EBERLIN, 1892). De nouvelles mesures permettant de saisir quantita-

tivement les différences de régime de ces régions seront nécessaires pour résoudre les problèmes posés à la fin du siècle passé.

Les écarts des valeurs annuelles des précipitations semblent être très grands, pouvant aller du simple au double, au triple, etc. Les écarts annuels ne se reflètent probablement pas dans l'écoulement marginal, l'appareil glaciaire étant très grand. Les écarts de courte durée peuvent se compenser chemin faisant. L'écoulement marginal correspond probablement à des moyennes de séries. Les observations pour déterminer la longueur de ces séries manquent ; elles permettraient, comme nous l'exposons dans une autre note, de se faire une idée sur la vitesse du métabolisme ou sur ce qu'on pourrait appeler l'inertie de l'inlandsis. Celle-ci change probablement dans les différents secteurs comme le font pressentir les observations de Lauge KOCH au Groenland septentrional (KOCH, 1928). Les variations de l'écoulement marginal correspondraient aux écarts des moyennes de séries ou à des variables d'un ordre supérieur. Cette question n'a pas encore suffisamment retenu l'attention ; son étude mènerait à un nœud de problèmes d'importance scientifique et pratique.

Cette rapide esquisse permet de comparer l'évolution des recherches sur la circulation marine et sur le métabolisme de l'inlandsis ; une telle comparaison ne semble pas être sans intérêt pour la suite des recherches parce qu'elle montre plusieurs points intéressants dont nous ne relèverons que les suivants : le problème des moyens de transport a été une des difficultés les plus sérieuses dans l'exploration de l'inlandsis ; grâce à la mise au point par M. Paul-Emile VICTOR d'un nouveau système de transport, les Expéditions polaires françaises purent exécuter de nombreuses mesures et observations. Les sondages et le prélèvement d'échantillons au-delà d'une trentaine de mètres offrent des difficultés considérables dans les masses froides de l'inlandsis. Pour les recherches océanographiques les méthodes d'investigation sont plus ou moins standardisées grâce surtout à une collaboration internationale étendue, à des programmes bien étudiés et à une coordination poussée des recherches. En comparant le stade d'évolution des études océanographiques à celui de l'exploration de l'inlandsis, on est forcé de constater que le décalage des phases est très grand, de sorte que l'on peut se demander si le moment ne serait pas venu de suivre l'exemple donné par les études océanographiques, même si l'on devait se contenter, pour le début, d'un cadre modeste. Il est vrai que les recherches sur le milieu marin profitent des applications pratiques, ce qui leur permet de mobiliser des fonds importants ; cependant, des investigations approfondies sur le métabolisme de l'inlandsis pourraient se faire avec des moyens restreints si l'organisation et le programme en étaient bien compris.

Les moyennes de l'accumulation du névé dans la zone centrale pour les quarante dernières années correspondent à une époque de *recul général* des fronts des émissaires. Le recul est naturellement la résultante de nombreux facteurs, entre autres de l'ablation dont l'intensité a changé depuis quelques dizaines d'années. Les observations récentes montrent que la surface des glaces s'est considérablement abaissée,

dans certains secteurs jusque dans la région des nunataks internes. Le régime défini par les mesures faites pendant ces dernières années correspond donc à une époque déficitaire. La limite du névé s'est probablement élevée, de sorte que l'aire d'accumulation a diminué au profit de la surface d'ablation. Nous ne savons pas s'il s'agit d'un recul séculaire analogue à celui du moyen âge entre 800 et 1200 environ (cf. L. KOCH, 1945, p. 354), ou si nous sommes en présence d'un phénomène d'un autre genre. On a essayé de reconstituer des périodicités de changements climatiques pour la zone arctique ; mais les auteurs ne sont pas d'accord sur l'enchaînement de ces périodes.

Au commencement de ce siècle, les savants ont vivement discuté la question de savoir si oui ou non le climat avait changé durant les périodes historiques ; deux camps opposés par leurs opinions et où l'on remarquait des noms illustres se formèrent ; l'échange des répliques dura si longtemps que le climat lui-même put changer et cela d'une façon si apparente, que par une démonstration de la nature elle-même, le débat fut clos. Les savants tournèrent par la suite leur attention soit vers les observations et les mesures de ces changements et leurs multiples répercussions, soit vers la spéculation sur les causes et la durée du réchauffement de la zone arctique. Le fait que nous ne nous trouvons pas dans une période à climat stable, mais en pleine transformation, modifie aussi la signification des observations et mesures actuelles. Celles-ci ne nous donnent pas l'image d'un état stationnaire, mais celle d'un passage vers un état encore inconnu et pour le moment imprévisible¹. L'ensemble des observations et des mesures a pour but de nous faire connaître le mécanisme des masses en mouvement. On peut comparer le résultat des recherches sur l'état actuel à la différentielle, c'est-à-dire à la tangente à la courbe de l'évolution climatique. On ne voit guère comment certains auteurs construisent une courbe compliquée par extrapolation, en n'ayant en main que la petite partie correspondant tout au plus à un siècle. L'application de l'analyse harmonique aux fluctuations climatiques peut être intéressante ; mais si elle se base sur des prémisses simplistes et ne tient pas compte des superpositions compliquées, ces résultats doivent être acceptés avec beaucoup de scepticisme.

La connaissance du mécanisme des masses en mouvement peut être de quelque secours pour prévoir l'avenir immédiat, mais elle ne peut pas mener bien loin, ni dans le passé, ni dans l'avenir. Pour tracer l'allure générale de la courbe en déterminant un certain nombre de points par lesquels elle doit passer (s'il nous est permis d'employer l'image un peu schématique de la courbe), il est nécessaire d'ajouter une nouvelle dimension, celle de la *perspective historique*, en s'aidant des renseignements de l'histoire, de la préhistoire et de la géologie. La troisième phase de l'exploration arctique a pour but

¹ Nous faisons abstraction ici des différentes opinions et prophéties émises à ce sujet et qui tiennent plus de la publicité que de la science, puisqu'elles n'ont pour le moment aucune base d'observation.

La reconstruction des mouvements dans l'espace et dans le temps géologique

Les méthodes employées pour cette reconstruction sont très différentes de celles de la seconde phase. Les géophysiciens ont parfois tendance à les considérer comme moins précises et moins certaines que leurs prémisses, mesures et interprétations. Ce préjugé ne peut être expliqué que par la méconnaissance de la structure des méthodes géologiques. Celles-ci se basent essentiellement sur l'observation et l'interprétation des *traces d'anciens événements* et de leur classement en groupes synchrones et métachrones, ce qui permet de reconstruire une suite chronologique d'images (plus ou moins complètes) ou d'états. Cette suite d'images, ou ce film, ne nous renseigne pas d'abord sur le mécanisme des phénomènes ou des appareils en question. Par exemple, la constatation d'une série de plages soulevées ne nous donne d'abord que des renseignements sur la variation des positions du niveau marin par rapport à la terre ferme. La constatation des stades de retrait d'un glacier (pour citer un autre exemple) ne nous renseigne que sur la succession des événements sans nous éclairer sur les causes et le mécanisme de ce retrait. Ce n'est qu'une seconde étape d'interprétation basée sur une argumentation plus étendue qui peut éventuellement éclaircir le jeu des facteurs déterminants.

Revenant à notre comparaison avec la courbe de l'évolution climatique, nous pourrions dire que la méthode géologique détermine sur l'axe du temps, par exemple sur l'abscisse, les positions successives et sur l'ordonnée les valeurs correspondantes (obtenues par plusieurs étapes d'interprétation à partir des faits observés); on sait donc par quels points la courbe doit passer, mais on n'en connaît pas, en général, la forme. Les physiciens et les mathématiciens aiment souvent déterminer une courbe par une formule exprimant le jeu des facteurs. Or, pour étudier le passé, nous n'avons généralement que des traces qui sont le résultat de ce jeu compliqué et il s'agit d'en tirer ce qui est possible. C'est une affaire de goût ou de mentalité de préférer l'une ou l'autre des méthodes, c'est-à-dire une théorie montrant le jeu nécessairement simplifié des facteurs à la reconstruction patiente, mais empirique, basée sur les distinctions chronologiques. Il était nécessaire de toucher ce point, parce que les résultats de la géologie et de la géophysique, exposés d'une façon schématique (pour ne pas dire simpliste), sont souvent comparés sans tenir compte des structures différentes de ces sciences.

Tandis que les investigations de la première et de la seconde phase nous renseignent sur la physiographie et les mouvements circulatoires de la zone arctique, la troisième en reconstituant les images du passé montre les transformations qui ont abouti au régime des conditions actuelles et les multiples variations pendant les temps Quaternaires et Postquaternaires. La zone polaire n'a pas toujours été le domaine des calottes glaciaires, des banquises et des phénomènes découlant du climat

arctique. Les dépôts du Mésozoïque et du Tertiaire ne montrent pas trace de ces phénomènes. Un régime arctique s'est donc installé pendant la seconde moitié du Tertiaire. L'étude des changements du relief et des conditions climatiques à partir de cette époque représente *le problème fondamental de la genèse de la nature arctique*. L'état actuel, vu dans cette perspective, ne devient que le dernier moment d'une longue évolution, mais il acquiert une importance particulière, car il nous fournit le fil qui nous guide vers le passé.

On a tenté de résoudre le problème de l'évolution du climat arctique par des voies très différentes. Les astronomes et quelques climatologistes ont voulu saisir l'ensemble des questions à la source en invoquant les variations de chaleur qui nous arrive du soleil (MILANKOWITSCH, 1938 ; ÖPIK, 1950). D'autres pensent avoir trouvé les facteurs déterminants dans la *distribution* des quantités de chaleur à la surface du globe ; c'est ainsi que les variations de volume des eaux chaudes amenées par le Gulf-stream auraient déterminé les changements climatiques. Les partisans de cette théorie ont affirmé qu'il était nécessaire de faire intervenir des soulèvements et des abaissements du seuil de Wyville-Thomson pour étrangler ou au contraire élargir le passage des eaux atlantiques. La difficulté d'expliquer les variations de volume n'était pas vaincue, elle n'était que déplacée dans un « no man's land » de la science, car il n'était pas possible de constater des soulèvements et des effondrements de ce genre. Cette ingénieuse méthode de résoudre des questions difficiles en les poussant pour ainsi dire sur des voies de garage sans issue semble très répandue dans la littérature concernant l'histoire de la nature arctique et la genèse du climat du Quaternaire en général. Nous ne voulons pas en donner d'autres exemples. Il n'est toutefois pas nécessaire de se contenter toujours de ce genre de solutions ; il semble plus recommandable de signaler celles-ci et d'étudier les raisons qui ont décidé de leur choix, pour trouver éventuellement une issue. Deux observations ont diminué l'importance de l'hypothèse du réglage des vannes pour les eaux atlantiques : d'une part, JAKOBSEN a montré que ce n'est pas la quantité absolue d'eau chaude qui exerce une influence sur le climat, mais sa distribution à la surface (JAKOBSEN, 1942) ; d'autre part, on est arrivé à attribuer une plus grande importance à la circulation des masses d'air. Dès lors, le problème se complique et se divise en plusieurs voies ouvertes menant à de nouvelles observations.

Le genre d'explications que nous venons de citer a parfois une valeur heuristique et d'aucuns trouvent même qu'elles n'ont de la valeur que dans la mesure où elles peuvent aider soit à dépister des événements du passé, soit à imaginer des méthodes et techniques permettant de saisir ces événements et d'en établir la chronologie.

Il est nécessaire de faire une distinction entre l'étude de l'histoire géologique des conditions arctiques et celle de la géologie des terres situées dans la zone polaire. La première aura pour but de rassembler tous les témoignages qui peuvent servir à reconstruire les changements survenus à partir de l'époque Tertiaire ; la seconde étudiera tous les phénomènes géologiques, qu'ils soient caractéristiques ou non pour la

zone polaire. L'exemple suivant fera mieux comprendre la différence entre ces deux domaines de recherche : les affleurements de roches, soumises à une époque récente aux influences glaciaires, sont souvent particulièrement frais et favorables aux études sur la transformation des roches en profondeur ; mais ces recherches ne touchent que très indirectement à l'histoire des conditions arctiques.

Pour une étude rationnelle de cette histoire, il conviendrait d'établir un catalogue de toutes les catégories de traces pouvant servir de documents pour la reconstruction des différents états antérieurs. Un tel catalogue dépasserait de beaucoup le cadre de cette note ; il serait à sa place dans les plans des expéditions de l'avenir et dans les instructions aux participants. Nous ne citerons ici que quelques exemples typiques, montrant l'enchaînement des recherches, et nous commencerons par les documents rencontrés sur terre ferme.

Un premier groupe de traces est conservé dans les *formes du relief* ; on y distingue l'effet des actions glaciaires, périglaciaires et de l'érosion subaérienne dite normale. Cette activité interfère avec les marques de soulèvement de l'écorce terrestre à partir de l'époque Tertiaire et celles des variations du niveau marin depuis le dernier retrait des glaces. Les méthodes de l'analyse morphologique permettent d'en tirer parti. La documentation est très incomplète, parce qu'une grande partie des traces anciennes a été détruite au cours de l'évolution.

Un second groupe est représenté par la gamme des *dépôts Tertiaires, Quaternaires et récents*. Leur mode de formation (par exemple moraines, argiles rubannées, plages, tourbes, etc.), leur composition (différence de décomposition des roches et des minéraux sous diverses conditions climatiques, minéraux argileux, composition de la solution interstitielle, etc.) et leur contenu en fossiles pourraient fournir des renseignements précieux s'il était possible de fixer leur chronologie. Les dépôts de l'époque de transition entre le Pliocène et le Quaternaire semblent rares dans la zone arctique, à l'exception du secteur sibérien (OBRUTSCHEW, 1926). On ne les trouve que là où il y a eu subsidence ; mais les côtes arctiques ont été, en grande partie, soulevées, avec intermittences, durant le Tertiaire et le Quaternaire.

Un troisième groupe comprend les *observations biogéographiques* qui constituent une mine de renseignements. La distribution des lichens (DAHL, 1950) et des nombreuses familles de plantes vasculaires (RICKLI, 1917, GELTING, 1941, SÖRENSEN, 1945), des araignées (BRÆNDEGAARD, 1946), des oribates et des collemboles (HAMMER, 1944) et des nombreuses autres familles d'animaux a été étudiée et exposée dans des monographies remarquables. Les interprétations diffèrent parfois selon les auteurs, mais ceci est compréhensible si l'on tient compte de la diversité des données. Ces dernières se présentent surtout sous forme de cartes montrant la distribution des diverses espèces. Dans la plupart des cas, la *discontinuité des aires de répartition* apparaît comme un caractère fondamental. L'explication des faits est difficile, il s'agit de reconstituer un état antérieur en partant de données de l'état actuel et d'imaginer quelle fut l'histoire des transformations reliant les deux étapes.

Ceci est d'autant plus ardu qu'il ne reste en général pas de marques chronologiques à disposition, les restes des organismes ayant disparu. Les données biogéographiques nous fournissent donc de précieux indices d'événements qu'il faudra placer dans l'histoire générale par d'autres méthodes.

Les traces d'événements qui, sur terre ferme, ont échappé à la destruction sont, cela va de soi, chronologiquement discontinues. Les marques des arrêts glaciaires par exemple n'ont en général subsisté que pour les derniers stades de retrait. Beaucoup de formes topographiques, modelées pendant une période déterminée, sont détruites au cours d'un épisode suivant : c'est le cas notamment lors d'une avance glaciaire. Il existera donc toujours des lacunes dans la documentation conservée sur terre ; pour en tirer parti, il faudrait pouvoir en déterminer l'étendue chronologique en plaçant les événements limitant la lacune dans une échelle chronologique aussi complète que possible.

La nécessité d'enregistrements chronologiques plus continus se fait donc sentir pour les régions arctiques. Une telle documentation ne peut pas se trouver sur terre, où, pour ainsi dire, beaucoup de feuillets de la chronique ont été arrachés sitôt écrits. L'enregistrement continu doit être cherché là où la sédimentation n'a pas cessé, c'est-à-dire sous la mer à une certaine distance de la côte. Jusqu'à maintenant, on n'a que très peu puisé dans ces archives (BÖGGILD, 1899 ; HUEBSCHER, 1943, pl. 1). Le développement des techniques océanographiques (BRAMLETTE, 1942 ; PETTERSSON, 1950) permet d'obtenir des carottes de sondage d'une vingtaine de mètres. Les recherches de ce genre ont été concentrées jusqu'à maintenant sous de basses latitudes. Les mers arctiques avec leurs tempêtes semblaient moins favorables à ces entreprises. L'inconvénient de l'agitation de ces mers peut être évité en pratiquant les sondages dans la zone des banquises où on trouve des surfaces d'eau tranquille.

Plusieurs circonstances paraissent favorables à l'investigation stratigraphique des fonds marins arctiques :

a) Au point de vue de l'étendue de la documentation, nous remarquons que l'épaisseur des sédiments récents est très importante au voisinage des côtes, mais diminue vers le large. Près des rivages, nous aurons donc des coupes où la période Post-glaciaire sera très étalée et riche en détails ; plus au large, en s'éloignant des régions à sédimentation rapide, les coupes correspondent, pour une même longueur de carotte, à des enregistrements de temps de plus en plus longs en fonction de l'éloignement de la source des sédiments terrigènes. Des coupes de ce genre pourront embrasser une partie de l'époque Quaternaire.

b) Au point de vue de la qualité de la documentation : les variations climatiques et physiographiques de la zone arctique oscillent en passant par des limites, où des changements d'état radicaux se produisent, qui influencent aussi bien la sédimentation que la vie organique.

c) Au point de vue des possibilités de synchronisation : les volcans de l'Islande, de Jan Mayen et d'autres districts volcaniques (HOEL, 1911,

1914 ; TROLLE, 1935, p. 47) fournissent pour certains secteurs des repères synchrones permettant de déterminer la vitesse de la sédimentation. Les études de THORARINSSON (1944) sur la téphrologie islandaise fournissent une échelle chronologique des éruptions historiques et subrécentes. Les remarquables travaux des géologues islandais (THORARINSSON et SIGURDSSON, 1947 ; BJARNASON & THORARINSSON, 1940 ; PJETURSS, 1939 ; DE GEER, 1928), les recherches sur les îles Féroé (RASMUSSEN, 1946) et les autres documents concernant l'activité volcanique dans le secteur scandinave prendront dans l'avenir une importance et un intérêt toujours plus accrus.

La technique moderne du carottage sous-marin permet actuellement l'établissement d'échelles chronologiques à court terme pour l'époque Post-quatenaire et de séries à long terme, embrassant des périodes plus longues ; les deux types peuvent être synchronisés soit par la succession des repères climatiques, soit par les traces d'éruptions volcaniques. Dans ces échelles standard des différents secteurs arctiques, on pourra fixer chronologiquement les événements constatés par les observations sur terre ferme. C'est alors seulement que la suite d'images illustrant l'évolution de la nature arctique sera classée dans un bon ordre.

Nous avons tenu à tracer en quelques lignes le développement des investigations dans la zone arctique. Passant en revue les trois phases essentielles des explorations arctiques, le lecteur aura pu se rendre compte des nombreuses tâches devant lesquelles les chercheurs se trouvent désormais placés. En ce qui concerne la troisième phase, nous ne sommes pas encore arrivés, et de loin, à la moitié du chemin à parcourir. La clé de voûte de cet ensemble de recherches n'est pas encore taillée, de nombreux travaux seront nécessaires pour qu'elle puisse être mise en place et faire du tout un édifice harmonieux et solide.

L'étude des sédiments marins arctiques attend les équipes de chercheurs. Cette étude en effet pourra nous livrer des documents qui, non seulement nous feront comprendre les débuts du monde arctique, mais nous dévoileront aussi l'image, si difficile à reconstituer, des temps qui marquent le passage du Pliocène au Quaternaire. Ce problème passionne les géologues de tous les pays comme en témoignent les séances de la section pour l'étude de la limite inférieure du Quaternaire du Congrès géologique international en 1948 à Londres.

Zusammenfassung

Die Entwicklungsgeschichte der Polarforschung kann in drei Phasen eingeteilt werden: Die Forschungen der ersten bezweckten, Umriss und Gestalt der Festländer, Meere und der Eisbedeckung festzustellen. Während der zweiten richtete sich die Aufmerksamkeit auf die bewegten Massen (Meere, Luftströmungen, Inlandeis, Meereis, usw.). Bewegungsbeobachtungen und Methoden die zu Bilanzen führen, sind dabei die wichtigsten Hilfsmittel. Während der dritten Phase wird die Kenntnis der arktischen Natur in geologisch-historischer Perspektive betrachtet; Bestandesaufnahme und Deutung der Spuren der geologischen Vergangenheit auf dem Lande, unter dem Meere und unter dem Inlandeise werden in der Zukunft erlauben, die Entwicklung der arktischen Natur zu erfassen.

Summary

It is possible to distinguish three phases in the development of polar exploration. The cruises of the first aim at the establishment of the coastlines and the physiography of the lands, the limits of the seas and of the ice-coverings. In the second phase, interest is greatest for the shifting masses (sea-water, air-currents, ice-cap, sea-ice, etc.). The most useful results are obtained by combining methods of velocity-measurements and making out the balances of the incoming and outgoing masses. In the third phase, the nature of the arctic lands is studied in the perspective of the geological evolution. Interpretation of remains of the geological past, on land under the sea and beneath the ice-cap will make it possible, in the future, to understand the evolution of the Arctic.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAMLETTE, M. N. et BRADLEY, W. H. — (1942). Lithology and geologic interpretations, Part I: Geology and biology of North Atlantic Deep-Sea cores between Newfoundland and Ireland. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* 196 (A): 1-34.
- BJARNASON, Håkon et THORARINSSON, Sigurdur. — (1940). Datering av vulkanska asklager i isländsk jordmån. *Geogr. Tidsskr.* 43: 5-30, 9 fig.
- BØGGILD, O. B. — (1899). Havbundens Aflejringer. *Den Danske Ingolf-Expedition* 1 (2): 1-86, 5 fig., 7 pl.
- BRÆNDEGAARD, Jens. — (1946). The Spiders (Araneina) of East Greenland. A faunistic and zoogeographical investigation. *Medd. om Grönl.* 121 (N^o 15), 128 p., 49 fig.

- BROCKAMP, Bernhard, SORGE, Ernst et WÆLCKEN, Kurt. — (1933). Seismik. *Wissensch. Erg. d. D. Grönland-Exp. Alfred WEGENER 1929 u. 1930/1931* 2: 1-160, 183 fig.
- DAHL, Eilif. — (1950). Studies in the Macrolichen Flora of South Greenland. *Medd. om Grönl.* 150 (N^o 2), 176 p., 7 pl., 1 carte.
- DE GEER, Ebba Hult. — (1928). Late-glacial clay varves in Iceland measured by H. WADELL dated and connected with the Swedish Time-Scale. *Geogr. Annaler* 10: 298-305, 2 pl.
- EBERLIN, Peter. — (1894). Den geologiske Udviklingen af Grönlands Inlandsis. *Geogr. Tidsskr.* 12: 33-36.
- GELTING, Paul. — (1941). Ueber pleistozäne Pflanzenrefugien in Grönland. *Mitt. Nat. Ges. Schaffhausen* 17 (4): 74-96, 5 fig.
- GRAAH, W. A. — (1932). Undersøgelses-Rejse til Østkysten af Grönland, efter kongelig Befaling udført i Aarene 1828-31. *Copenhagen* 171 p., 7 pl., 3 fig., 1 carte.
- HAMMER, Marie. — (1944). Studies on the Oribates and Collembolus of Greenland. *Medd. om Grönl.* 141 (N^o 3), 210 p., 38 fig.
- HOEL, A. et HOLTEDAHL, E. — (1911). Les nappes de lave, les volcans et les sources thermales dans les environs de la Baie Wood au Spitzberg. *Vid. Selsk. Skr. Mat. Nat. Kl.*, 1911 (N^o 8), 37 p., 9 pl.
- HOEL, A. — (1914). Nouvelles observations sur le district volcanique du Spitzberg du Nord. *Vid. Selsk. Skr. Mat. Nat. Kl.*, 1914 (N^o 9), 34 p., 17 pl.
- HUEBSCHER, Hans. — (1943). Zur Petrologie junger Sande aus Nordostgrönland. *Medd. om Grönl.* 115 (N^o 3), 108 p., 9 fig., 1 carte.
- JAKOBSEN, J. P. — (1942). Zur Diskussion der der Arktis zugeführten Wärmemenge. *Veröff. des D. wiss. Inst. Kopenhagen*, sér. 1, 1: 19-22.
- KIILLERICH, A. — (1945). On the Hydrography of the Greenland Sea. *Medd. om Grönl.* 144 (N^o 2), 63 p., 22 fig., 3 pl.
- KOCH, J. P. — (1913). Gjennem den hvide Ørken. *Copenhagen*, XIV+286 p., pl. et fig.
- KOCH, J. P. et WEGENER, A. — (1930). Wissenschaftliche Ergebnisse der dänischen Expedition nach Dronning Louises-Land und quer über das Inlandeis nach Nordgrönland 1912-13 unter Leitung von Hauptmann J. P. KOCH. *Medd. om Grönl.* 75 (N^o 1), 404 p., 240 fig., 4 pl., 1 portrait.
- KOCH, Lauge. — (1928). Contributions to the glaciology of North Greenland. *Medd. om Grönl.* 65: 181-464, 140 fig., 6 pl.
- (1945). The East Greenland Ice. *Medd. om Grönl.* 130 (N^o 3), 371 p., 140 fig., 1 pl.
- LÆWE, Fritz. — (1932). Abschmelz- und Zuwachsmessungen. *Zschr. f. Erdkunde Berlin*, p. 133-134.
- (1936). Höhenverhältnisse und Massenhaushalt des gröndländischen Inlandeises. *Gerlands Beitr. z. Geophysik* 46: 317-330, 3 fig.
- LÆWE, Fritz et WEGENER, Kurt. — (1933). Die Schneepegelbeobachtungen. *Wissensch. Erg. d. D. Grönland-Exp. Alfred WEGENER 1929 u. 1930/1931* 1: 153-171, 5 fig.
- MADSEN, Holger. — (1936). Investigations on the shore fauna of Greenland with a survey of shores of other arctic regions. *Medd. om Grönl.* 100 (N^o 8), 79 p., 17 fig.

- MILANKOWITSCH, M. — (1938). Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate. *Handb. Geophys.* 9: 593-698, 15 fig.
- MINTROP, L. — (1950). Wirtschaftliche und wissenschaftliche Bedeutung geophysikalischer Verfahren zur Erforschung von Gebirgsschichten und nutzbaren Lagerstätten. *Annales suisses des Sc. appl.* 16 (N^o 11): 321-335, 37 fig.
- OBRUTSCHEW, W. A. — (1926). Geologie von Sibirien. *Fortschr. der Geol. u. Pal.* 15: 573 p., 60 fig., 10 pl., 1 carte.
- ÖPIK, E. J. — (1950). Secular changes of stellar structure and the Ice Age. *Monthly Notices R. Astron. Soc.* 110 (N^o 1): 49-68.
- PETTERSSON, Hans. — (1950). Med « Albatross » över havsdjupen. *Stockholm*, 239 p., 133 fig., 4 pl.
- PJETURSS, Helgi. — (1939). On the Pleistocene Rocks of Iceland and the age of the submarine shelf. *Geol. Mag.* 76: 281-284.
- RASMUSSEN, Joannes. — (1946). Oversigt over den geologiske litteratur vedrørende Færøerne. *Medd. fra D. geol. For.* 11: 66-96.
- RICKLI, M. — (1917). Die den 80° N erreichenden oder überschreitenden Gefässpflanzen. *Viertelj. Nat. Ges. Zch.* 62: 169-193.
- RINK, H. — (1877). Om Inlandsisen og Frembringelsen af de svømmende Isfjælde (efter de seneste Jagttagelser). *Geogr. Tidsskr.* 1: 112-119, 2 pl.
- (1888). Resultaterne af de nyeste danske Undersøgelser i Grønland, med Hensyn til Indlandet og de svømmende Isbjærges Oprindelse. *Geogr. Tidsskr.* 9: 63-73.
- RYDER, C. — (1895). Hydrografiske Undersøgelser. *Medd. om Grönl.* 17: 191-221.
- SORGE, Ernst. — (1932). Glaziologische Untersuchungen in Station Eismitte. *Zschr. d. Ges. f. Erdkunde Berlin*, p. 138-141, fig. 21-23.
- (1935). Glaziologische Untersuchungen in Eismitte. *Wissensch. Erg. der D. Grönland-Exp. Alfred WEGENER 1929 u. 1930/1931* 3: 62-270, 48 fig.
- SØRENSEN, Thorvald. — (1945). Summary of the botanical investigations in N. E. Greenland. *Medd. om Grönl.* 144 (N^o 3), 48 p., 29 fig., 1 pl.
- THORARINSSON, Sigurdur. — (1944). Tefrokronologiska studier på Island; Thorsárdalur och dess förödelse. *Geogr. Annaler Stockh.*, 217 p., 67 fig.
- TORARINSSON, Sigurdur et SIGURDSSON, Steinthor. — (1947). Volcanoglaciological investigations in Iceland during the last decade. *Polar Record* 5: 60-66, 2 pl.
- TROLLE, Alf. — (1935). M/S « Thor »s Havundersøgelsestogt 1934. *Publ. om Østgrönland* 3, 196 p., 30 fig., 1 carte.
- WEGMANN, C. E. — (1941). Geologische Gesichtspunkte zur Frage der Eiszeitüberdauerung von Pflanzen in Grönland. *Mitt. d. Nat. Ges. Schaffhausen* 17 (N^o 5): 97-115.
- WEICKMANN, L. — (1942). Die Erwärmung der Arktis. *Veröff. d. D. wiss. Inst. Kopenhagen*, sér. 1, 1: 17 p., 1 fig.
- ZELLER, Max. — (1939). Moderne Kartierungsmethoden in unerforschten Gebieten. *Mitt. Nat. Ges. Schaffhausen* 16: 222-227, 5 fig.