Zeitschrift: Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 14 (1965-1968)

Heft: 4

Artikel: Evolution des idées sur le déplacement des lignes de rivage : origines en Fennoscandie

Autor: Wegmann, Eugène

Kapitel: Les diagrammes et leur interprétation

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-258672

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

moment de l'histoire géologique, leur forme actuelle et leur succession donnent le film des paysages qui se suivent. Les déplacements des lignes de rivage sont, d'après RAMSAY (1924), des *phénomènes d'interférence entre les oscillations du niveau marin et les mouvements de l'écorce terrestre*. Ce principe forme la base des méthodes d'investigation permettant d'obtenir des représentations détaillées des plages soulevées et de leur chronologie.

En abandonnant la recherche d'une *seule cause* et en créant des méthodes pour *reconstituer les événements et leur succession*, la *cinématique* des phénomènes a pu être établie et la part des facteurs enregistrée en de nombreux endroits. C'est probablement l'un des meilleurs exemples dans l'histoire de la géologie où l'*étude approfondie de la cinématique des phénomènes a pu mettre fin à des discussions épiques* et a permis d'arriver à un carrefour important d'où partent de nombreuses voies qui restaient cachées dans la perspective des explications unicausales. Grâce à ce développement, l'étude du Quaternaire et du Postquaternaire nordique est devenue le meilleur exemple d'une stratigraphie détaillée et l'un des modèles type de la tectonique vivante. Il nous semble donc utile d'en esquisser quelques traits se rapportant surtout à l'*étude des interférences*, tout en laissant de côté la partie stratigraphique et les étapes de l'évolution du bouclier Baltique, exposées dans de nombreux ouvrages. Les cartes, les graphiques et tableaux représentant les résultats de ces recherches, prennent une autre signification, si on entrevoit les méthodes par lesquelles ils ont été élaborés. L'exposé de ces méthodes et techniques est fréquemment omis, sauf quelques exceptions, comme l'exposé de Georges DUBOIS (1931).

Les diagrammes et leur interprétation

Pour donner une idée de l'image directrice, nous commencerons par un mouvement simple et nous ajouterons par la suite quelques complications, sans toutefois aller jusqu'aux raffinements des recherches actuelles. L'ordre de grandeur du bouclier Baltique est de plus de mille kilomètres. Une coupe transversale de quelques dizaines ou même d'une centaine de kilomètres, perpendiculairement aux anciennes surfaces de rivage, peut être représentée dans sa position originale par une ligne droite, la courbure pouvant être négligée pour commencer.

Imaginons un fjord ou un archipel offrant la possibilité d'observer en de nombreux endroits les anciennes lignes de rivage. La ligne actuelle fournit une base horizontale, si l'on n'a pas de points cotés à sa disposition. Dans les secteurs présentant des marées, comme sur les rivages de la mer Arctique, la limite supérieure de *Balanus balanoides* est considérée comme point de départ. Des coupes sont ainsi relevées à l'aide d'un niveau et d'une mire.

Les anciennes lignes de rivage peuvent se présenter de façons très différentes, suivant les conditions topographiques du relief et l'exposition (TANNER, 1930; SAURAMO, 1929). Dans un paysage couvert de dépôts glaciaires, ceux-ci peuvent être entièrement enlevés jusqu'à une certaine hauteur, de sorte que

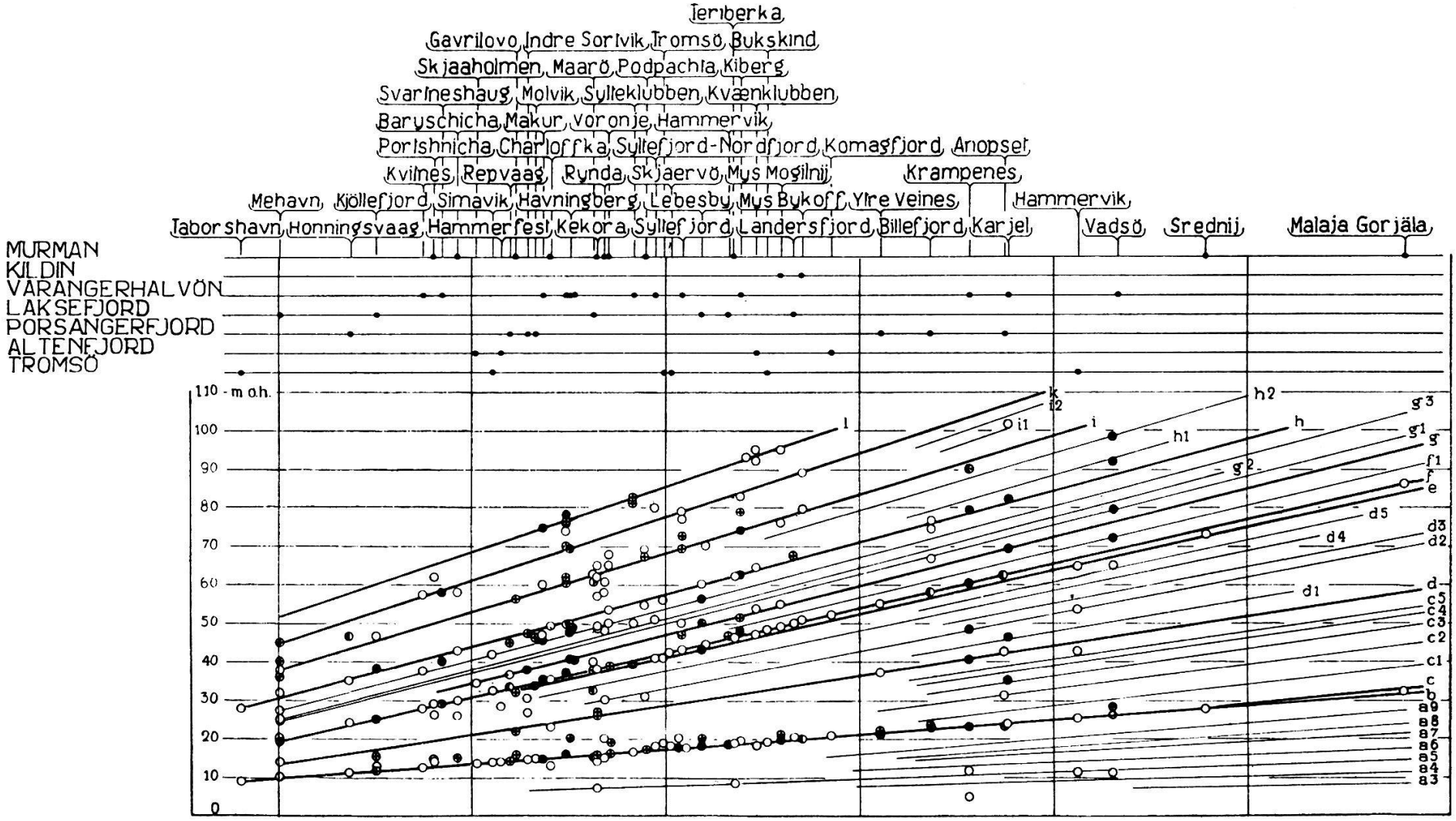
le socle rocheux apparaît. La moraine peut aussi être lavée, de telle manière que les fractions fines sont enlevées. De cette façon, on obtient des champs de blocs, de pavés ou de galets grossiers. La fraction sableuse est transportée le long du rivage et déposée dans les endroits abrités, la partie argileuse se dépose dans les eaux tranquilles. Les galets peuvent former des cordons littoraux, des éperons et des remparts. Les dalles de glace hivernale poussent souvent les blocs et les galets sur le rivage, de sorte qu'ils forment des remparts et des alignements visibles même dans les forêts. De grands et de petits deltas fournissent des données importantes. Les terrasses d'abrasion marine montrent une grande variété de phénomènes souvent décrits dans la littérature depuis les temps de SWEDENBORG, CELSIUS et LINNÉ. Les témoins en forme de colonnes, d'îlots isolés, les corniches causées par le ressac, les formes dues à l'érosion et à la cavitation (TANNER, 1938), des marmites, et d'autres formes caractéristiques, font partie de cet inventaire. Les plages supérieures témoignent souvent d'une abrasion plus intense, parce que les côtes étaient plus ouvertes au commencement.

En récoltant les observations sur le terrain, on s'arrange généralement de telle façon que la zone contenant les coupes mesurées se situe perpendiculairement à l'axe de basculement. Dans ce cas, il est possible de projeter les points mesurés sur un plan vertical passant par la zone. Une telle projection permet d'obtenir des *diagrammes*. On distingue essentiellement deux sortes de ces représentations :

a) Les *diagrammes dits équidistants :* l'axe x donne la distance entre les positions des coupes mesurées, ou de leur projection ; l'axe y indique l'altitude des points. L'échelle verticale est naturellement fortement exagérée par rapport à celle de l'horizontale. Les points correspondants sont reliés et permettent d'obtenir l'intersection des surfaces des anciens niveaux marins ou lacustres avec le plan vertical et la position de cette intersection par rapport au niveau marin actuel (cf. pl. 2).

b) L'autre type est appelé *diagramme des rapports* (relation-diagram) ou *spectre épirogénétique* (TANNER, 1930) : L'axe x donne l'altitude des points mesurés, mais ne donne pas les distances mesurées sur la carte. On trace d'abord une droite, représentant une ligne de rivage bien marquée et bien synchronisée (par des fossiles, des pollens ou d'une autre façon). Puisque c'est une ancienne horizontale, on peut la dessiner comme une droite, mais elle est maintenant inclinée. Les points des différentes coupes sont ensuite placés de telle façon que les altitudes du niveau directeur correspondent à la valeur x de la ligne de référence du diagramme. Les autres points, correspondant à des rivages situés plus haut ou plus bas dans la même coupe, se placent sur une même verticale. L'ensemble est donc axé sur un ancien niveau déterminé, considéré comme une droite (Fig. 2 et Pl. 1).

Dans ses premiers diagrammes des rapports, RAMSAY a utilisé comme niveau de référence, le rivage le plus haut marqué par l'escargot *Litorina*.



Konstr. V. Tanner, 1927.

Fig. 2. — Spectre épirogénétique des côtes fennoscandiques de l'océan Arctique construit par Väinö TANNER (1930), p. 264, fig. 63). — Points noirs = terrasses d'abrasion dans la roche en place ; cercles = terrasses d'abrasion dans les terrains meubles ; cercles avec croix = remparts d'accumulation.

Cette ligne est connue en Fennoscandie sous le nom de « limite de *Litorina* » *(Litorinagränsen)* = L. G. et elle a joué et joue encore un rôle important ; mais en 1924 RAMSAY montra que cette limite n'est pas *synchrone* dans toute la région, c'est-à-dire que ses différentes parties n'ont pas été formées en même temps, étant donné qu'elles correspondent à une transgression. Cet exemple montre un problème important de ces recherches, celui de la *synchronisation*. Suivant la terminologie de RAMSAY, la limite de *Litorina* est *métachrone* (son âge n'est pas partout le même) ; elle est une combinaison de plusieurs surfaces, chacune un peu différemment inclinée. Cette inclinaison diminue avec l'âge, quoique peu, ce qui rendait la constatation difficile. La limite supérieure des rivages marins, autrefois considérée comme synchrone, est aussi métachrone, étant par exemple plus ancienne en Finlande méridionale qu'à l'intérieur du pays (RAMSAY, 1921, 1924) (cf. p. 151 et 153).

Les diagrammes montrant les distances sur l'abscisse sont, d'après RAMSAY (1931), plus utiles pour représenter les observations faites sur des territoires limités, montrant peu de lignes, tandis que les diagrammes construits à partir d'une ligne de référence, conviennent mieux pour des régions plus étendues. Les diagrammes établis par Väinö TANNER (1930) pour le nord de la Fennoscandie contiennent des centaines de mesures.

Les méthodes de mesure, de synchronisation et de coordination ont été développées depuis le temps de RAMSAY et sont devenues de plus en plus raffinées. Cet exposé historique ne peut mentionner que les commencements et les traits élémentaires. Notre but n'est pas de remplacer l'étude de la littérature ou de donner un mode d'emploi pour ces méthodes et techniques, mais de montrer de quelle façon la pensée scientifique a cheminé dans un domaine qui semblait parfois sans issue. Cet exposé servira peut-être aussi d'introduction à quelqu'un qui, en dehors de la Fennoscandie, désirerait s'initier à ces méthodes ; il y trouverait les antécédents de ces connaissances fondamentales pour la stratigraphie des séries déposées sous un régime de lignes de rivage mouvantes et de tectonique vivante.

Pour bien saisir la démarche, il est nécessaire de donner une esquisse de l'image directrice servant de guide pour toutes ces recherches. Quelques schémas aideront (fig. 3, 4, 5). Admettons une baie profonde ou un fjord ; la mer crée une première ligne de rivage (L_1) jalonnée par les multiples phénomènes permettant de la reconnaître. Un premier mouvement de bascule soulève la partie interne du territoire et il se formera une deuxième ligne (L_2), et ainsi de suite (L_3, L_4, L_5, etc.). Pour simplifier cette représentation, il est admis que l'axe du mouvement de bascule et le centre du soulèvement restent constants. Pour pouvoir adapter les techniques aux conditions de la nature, il est nécessaire de rester conscient de cette sorte de simplification et de ne pas croire que les possibilités des phénomènes naturels sont épuisées par nos modèles, même les modèles compliqués.

Introduisons maintenant un nouveau facteur : l'inlandsis. Le glacier continental couvre l'intérieur du territoire, mais envoie un émissaire dans le

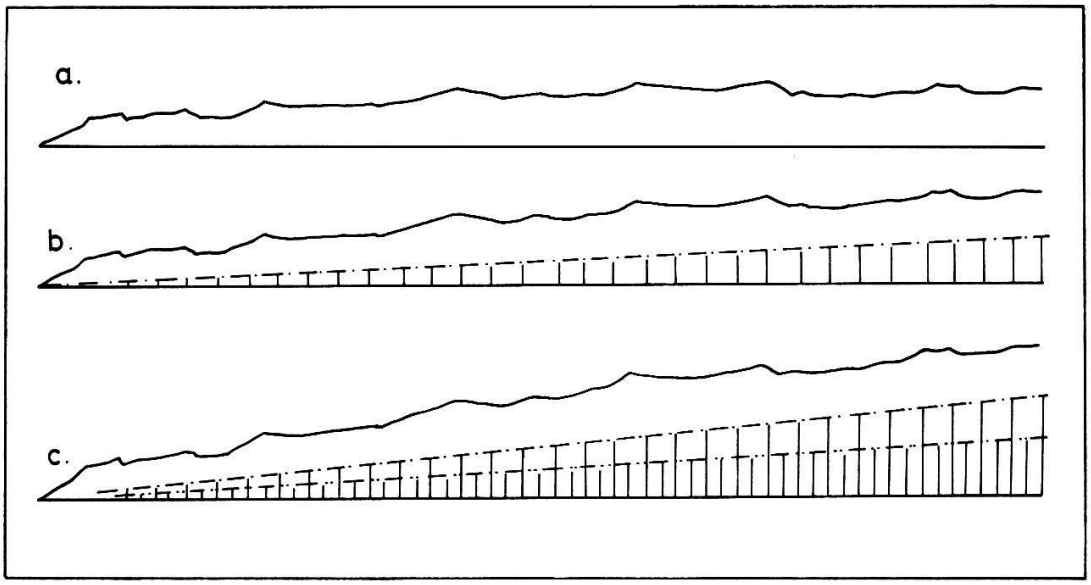


Fig. 3. — Schéma montrant la disposition des lignes de rivage soulevées *a*, *b*, *c* dans le cas où le niveau marin reste stable. Les surfaces successives émergées sont marquées.

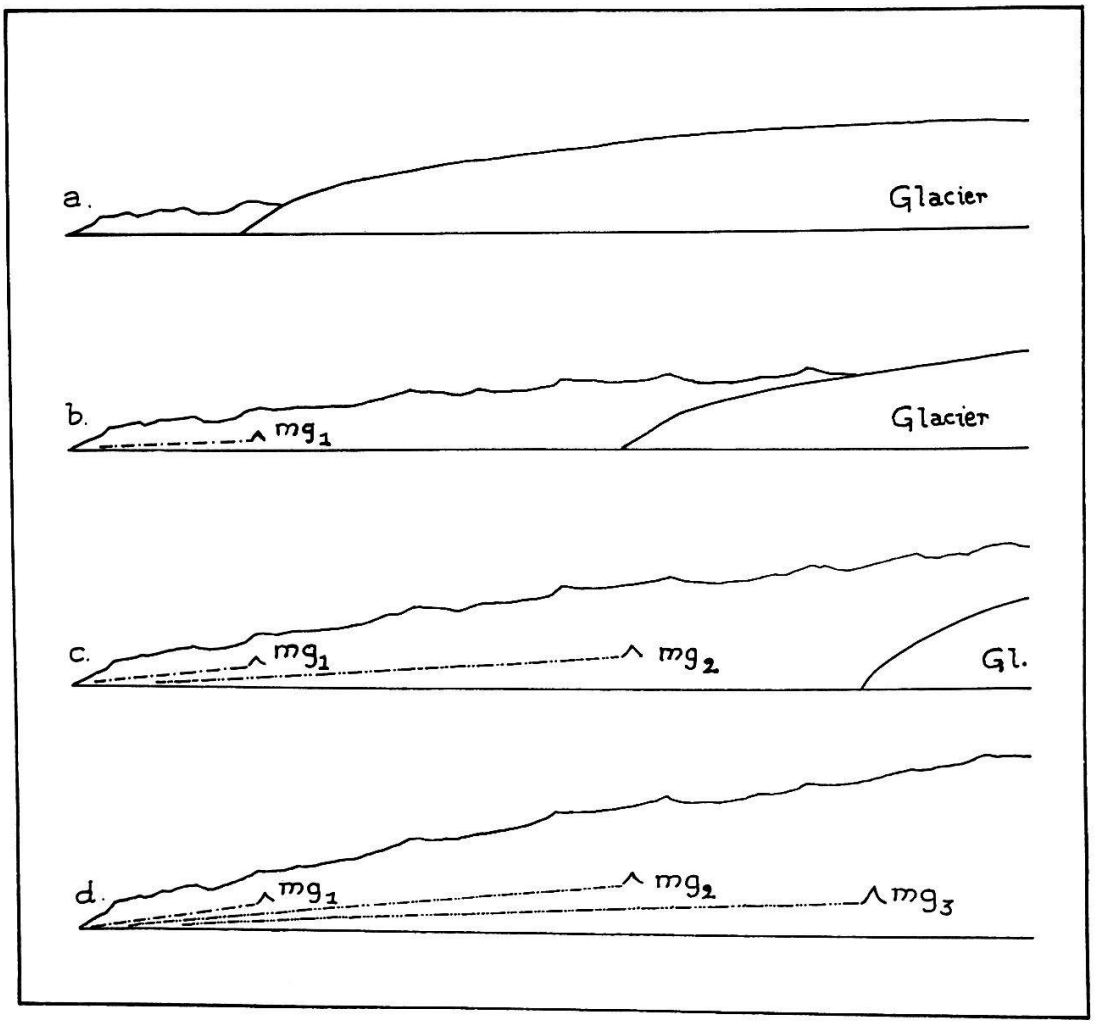


Fig. 4. — Déplacement des lignes de rivage combiné avec le recul des glaciers : *a)* la première ligne de rivage n'est marquée que dans la partie non recouverte par le glacier ; *b)* la première ligne de rivage est soulevée et le glacier a reculé ; limite des traces d'activité marine = mg_1 ; *c)* la deuxième ligne de rivage (mg_2) est soulevée et le glacier a reculé ; *d)* la troisième ligne de rivage (mg_3) est soulevée à son tour. — Les limites supérieures des témoignages de l'activité marine sont métachrones. En reliant ces limites, on n'obtient pas des surfaces d'isobases synchrones.

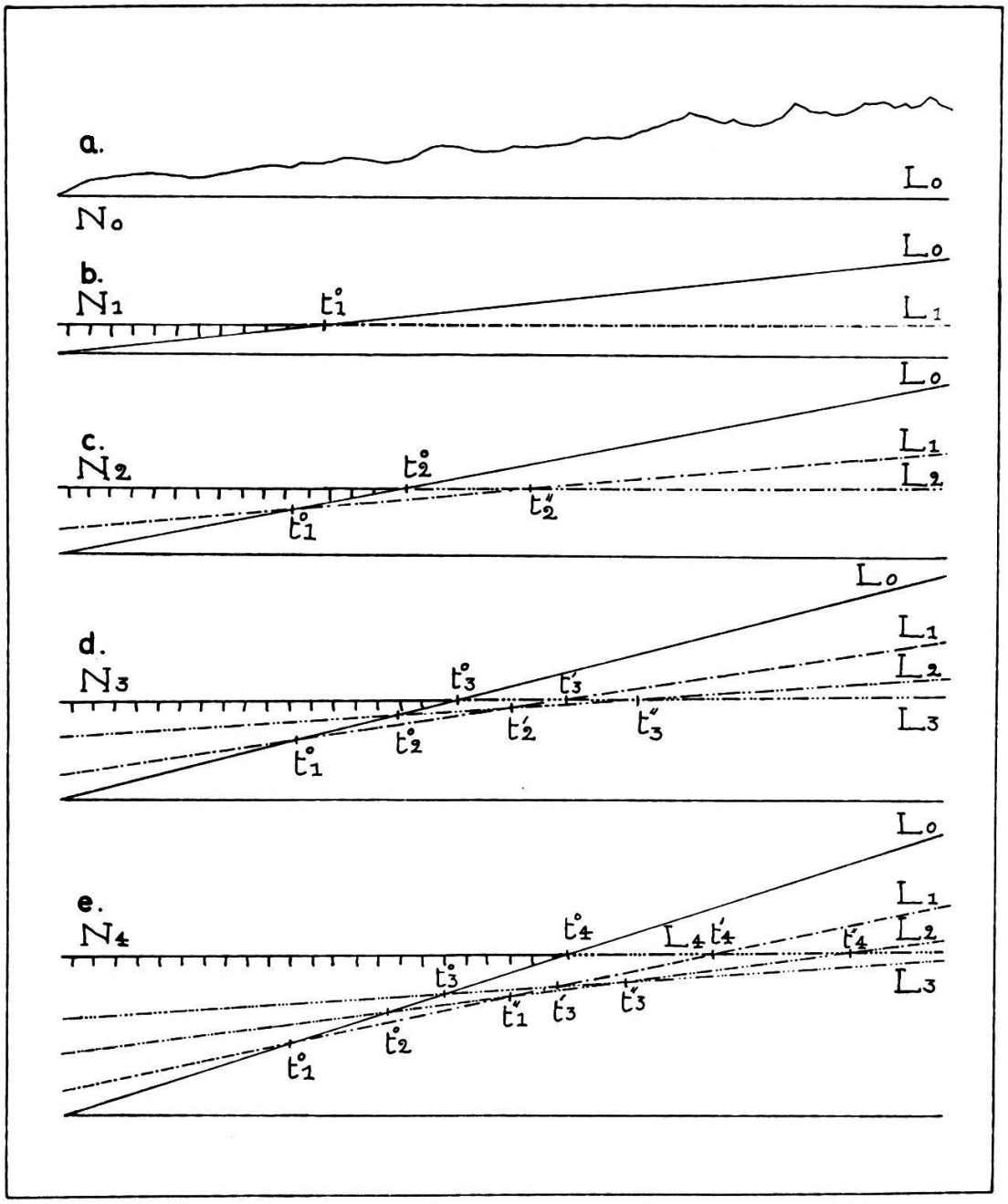


Fig. 5. — Rapport entre les mouvements de bascule des lignes de rivage et la remontée du niveau marin : *a)* formation de la ligne L_0 ; *b)* basculement de la ligne L_0 tandis que le niveau marin monte de N_0 à N_1 en formant la ligne L_1 ; la partie supra-aquatique extérieure de la surface L_0 est envahie par les eaux jusqu'au point de transgression t^0_1 ; les dépôts marins y recouvrent les formations subaériennes (dépôts lacustres, marécageux, tourbes, etc... pouvant fournir des fossiles permettant d'en déterminer l'âge) ; *c)* le niveau marin s'élève de N_1 à N_2 et fait transgresser sur L_0 jusqu'au point t^0_2 et sur la ligne L_1 jusqu'au point t'_2, tandis que la ligne L_2 se forme ; *d)* le niveau marin atteint N_3 en submergeant les anciennes lignes de rivage, L_0, jusqu'au point t^0_3, L_1 jusqu'au point t'_3, et L_2 jusqu'à t''_3 ; *e)* le niveau marin ayant atteint N_4, les anciennes surfaces supra-aquatiques sont envahies jusqu'aux points t^0_4, t'_4, t''_4 et t'''_4 (ce dernier situé en dehors du cadre). — Cette évolution montre que la superposition des séries terrestres et marines n'est pas uniforme, mais change d'un secteur à l'autre. — Les schémas ne représentent que quelques stades du développement aidant ainsi à imaginer les mouvements continus. La série ci-dessus ne représente qu'une parmi les nombreuses possibilités des rapports entre les mouvements de l'écorce terrestre et les variations du niveau marin.

fjord. La première ligne ne sera formée que dans les parties extérieures. Lors du recul du glacier, les lignes suivantes peuvent s'étendre de plus en plus vers l'intérieur. Une telle configuration a prêté pendant longtemps à confusion, parce que l'on a considéré la limite de l'influence marine (MG = *marinagränsen* des auteurs fennoscandiens) comme un niveau de référence. RAMSAY (1921, 1924) a montré que c'est une ligne métachrone. La distinction entraîne des conséquences importantes. Pour ne citer qu'un exemple : en basant l'estimation du soulèvement central du bouclier Baltique sur les valeurs de surfaces métachrones, par exemple sur celles de MG, on obtient nécessairement des valeurs plus petites que si l'on essaie d'extrapoler les séries de surfaces synchrones, puisque les ensembles métachrones sont généralement moins inclinés que les surfaces synchrones.

Il est maintenant nécessaire d'introduire les changements du niveau marin : (fig. 5). Après la formation d'une première ligne (L_0), le niveau de la mer s'élève de l'horizontale N_0 à N_1. De cette façon, une partie de ce qui était terre ferme est noyé. Des dépôts marins se superposeront aux témoignages de la terre ferme, c'est-à-dire on constatera une *transgression*. On trouvera par exemple dans une coupe stratigraphique au-dessus d'un dépôt de marécage, (déterminé par l'analyse pollinique et l'étude des diatomées), des dépôts marins incontestables ; mais ces dépôts marins ne forment que des lames minces en biseau, qui se terminent à la ligne de transgression (points T de la figure). Les intersections entre les anciennes surfaces (N et L de la fig. 5) ont été utilisées par TANNER (1930, p. 344-356) pour déterminer (par approximations successives) les anciens niveaux de la mer. Pour y arriver, il faut des données de plus en plus exactes.

Pendant un épisode suivant, les deux composantes peuvent interférer d'une façon analogue, mais différente dans le détail. Les transgressions de ce genre peuvent se suivre et former des séries. On distinguera plusieurs sortes de contacts transgressifs.

Ces transgressions et régressions ont été observées depuis longtemps par des observateurs norvégiens et suédois, qui en établirent la succession stratigraphique. On a, pendant longtemps, interprété ces changements comme les témoignages d'oscillations, soit du niveau marin, soit du socle rocheux, en analogie avec les transgressions et les régressions des terrains plus anciens.

Les phénomènes apparaissent donc sous un angle assez différent dans les deux modes d'explication. Dans les hypothèses unicausales, d'immenses volumes, soit d'eau, soit de roches, sont mis en mouvement pour expliquer les oscillations. Dans l'image directrice de RAMSAY, ces mêmes phénomènes revêtent le caractère d'épisodes, dans un enchaînement d'un autre ordre de grandeur, quoique sa durée soit courte en comparaison avec les coupures des étages stratigraphiques préquaternaires.

Plusieurs simplifications ont été admises lors de la construction des schémas, de sorte que ces modèles ne sont que des premières approximations et doivent être corrigés à plusieurs reprises pour mieux s'adapter aux conditions de la

nature. Une première simplification est représentée par la supposition que le niveau de la mer est chaque fois monté et que l'angle d'inclinaison des anciennes surfaces a chaque fois augmenté. Si c'est le cas, dans les grandes lignes, pour la Fennoscandie, il en est certainement autrement pour des périodes plus longues ou pour des régions d'un autre caractère. Une autre simplification consiste à admettre que l'axe de rotation était stationnaire. En réalité, il change de place et les isobases de deux surfaces consécutives peuvent se croiser (RAMSAY, 1927; SAURAMO et AUER, 1928, pl. II; TANNER, 1930, p. 311). Dans les régions les mieux étudiées, des sinuosités plus ou moins locales apparaissent dans le dessin des isobases. Elles affectent surtout les anciennes surfaces, tandis qu'elles semblent disparaître dans les systèmes d'isobases plus jeunes. Ces données peuvent être interprétées de plusieurs manières : on peut les considérer comme les témoignages de la structure interne du socle rocheux, dont différentes parties réagissent différemment lors de la dépression et du soulèvement. Ces témoignages disparaîtraient dans les surfaces plus jeunes, parce que les différences deviennent trop petites pour être décelées par les méthodes actuelles. D'autre part, on les a aussi interprétés comme étant les empreintes de lobes glaciaires, s'attardant plus longtemps sur certains secteurs que dans d'autres. La différente durée du stationnement des glaces a donné lieu à beaucoup de recherches et de discussions : SAURAMO (1939, 1944), a cru découvrir des espèces de charnières en avant des positions de stationnement prolongé des glaces. C'est le problème passablement discuté des « hinge-lines » (SAURAMO, 1955). Il semble que les mesures exécutées actuellement ne permettent pas encore d'affirmer ce phénomène (Pl. I).

Une autre explication est suggérée par l'existence de nombreuses failles postglaciaires observées depuis le Danemark (MILTHERS, 1916) jusque dans les régions de l'océan Arctique (TANNER, 1930), et depuis la Norvège jusque dans les pays baltes. Les sinuosités et les irrégularités de pente pourraient être l'effet de zones de fractures à faible rejet.

Un exemple bien étudié par TANNER (1930, p. 41-188, fig. 59-61, pl. II) est celui de la péninsule des Pêcheurs (Kalastajasaarento, Fiskarhalvön, au NW de la côte Murmane) : le relief de la péninsule est coupé dans une série éocambrienne plissée et faillée, contenant des horizons morainiques (WEGMANN, 1928, 1929). C'est la continuation de la zone de Varanger qui se continue jusqu'à l'île de Kildine. Ce segment calédonien est séparé du vieux socle cristallin du fjord de Petsamo par une faille d'un rejet considérable. Les diagrammes des anciennes lignes de rivage (pl. II) montrent que les anciennes failles ont rejoué quand le socle fut déchargé, après la fonte des glaces. Il est probable que les discontinuités s'étendant jusqu'aux enveloppes mobiles se font sentir sous des différences de charge ou lors de contraintes. Les recherches détaillées sur les déformations récentes permettent donc de déceler et de différencier des discontinuités de ce genre. Ce sont des méthodes d'un grand intérêt pour la géophysique.

Les déformations consécutives sont inscrites dans les diagrammes et leurs mouvements partiels peuvent être déterminés d'une ligne de rivage à l'autre. Il est possible de constater sur chacune des fractures quand et de combien les lèvres se sont déplacées (en tout cas si le rejet dépasse les limites d'incertitude).

Il est naturellement possible, et même probable, que les différentes explications doivent être combinées et que différents exemples montrent différentes combinaisons de mécanismes.

Successions et échelles chronologiques

Les mouvements sont enregistrés par les différences de la configuration géométrique (inclinaison, sinuosités, discontinuités, etc.) des surfaces isochrones. Chacune de ces surfaces forme, pour ainsi dire, *une instantanée* et la séquence de ces instantanées donne *le film du mouvement*. Mais les instantanées ne sont pas prises à des intervalles réguliers. Les différents stades forment une série chronologique relative ; on connaît *leur succession*, mais pas la durée exacte de leurs intervalles. Les recherches combinées ont toutefois abouti à relier ces étapes à d'autres échelles chronologiques, ces échelles étant, soit des successions, soit des chronologies absolues. Les différentes séries de subdivision, sont à leur tour reliées entre elles par de multiples points communs, de telle façon qu'un vrai *réseau de coordonnées chronologiques* a été créé.

Les différentes successions stratigraphiques et paléontologiques sont surtout déterminées par l'évolution climatique, comme celle de la flore et de la faune terrestres, et celle de l'hydroclimat, déterminant les associations biologiques des nappes d'eau. D'autres successions, comme celles des caractères des eaux (lac glaciaire Baltique, mer à *Yoldia*, transgression à *Echineis*, lac à *Ancylus*, d'une durée de quelques siècles, mer à *Mastogloia* et les différents stades de la mer à *Litorina*), dépendent de l'évolution physiographique. Les successions archéologiques sont basées sur la typologie changeante des artéfacts (RAMSAY, 1927). La succession des lignes de rivage est naturellement aussi, en dernier lieu, reliée à l'évolution climatique par la disparition des glaces et la libération des eaux (pl. I).

Toutes ces successions furent rattachées à la chronologie absolue basée sur le comptage des varves (DE GEER, 1912, 1940 ; SAURAMO, 1923) et, plus tard, aux déterminations par le ^{14}C.

Chaque événement important est donc inscrit dans un réseau de coordonnées chronologiques. *Les vraies vitesses et les changements de vitesse* au cours de l'évolution, peuvent être déterminés pour de nombreux points, grâce aux diagrammes. La distribution de ces vitesses est représentée par des séries de cartes montrant les isobases. Ces cartes montrent la configuration actuelle d'une ancienne surface de 0 m et permettent ainsi de se faire une idée de la vitesse moyenne de chaque point entre un moment donné et aujourd'hui.

Ceci est une esquisse des grandes lignes. Les opérations commencées par RAMSAY et ses disciples, Matti SAURAMO, Väinö TANNER, Väinö AUER, Thorolf VOGT (1930) et leurs collaborateurs, sont continuées par leurs élèves et leurs