WILEY

Le soulèvement récent de la Fennoscandie. Quelques Mots à Propos de L'article de M. Rune
Dans ces Annales

Author(s): Rolf Witting

Source: *Geografiska Annaler*, Vol. 4 (1922), pp. 458-487

Published by: Wiley on behalf of Swedish Society for Anthropology and Geography

Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/519756>

Accessed: 12-05-2016 11:33 UTC

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at
<http://about.jstor.org/terms>

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact support@jstor.org.

Swedish Society for Anthropology and Geography, *Wiley* are collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Geografiska Annaler*

LE SOULÈVEMENT RÉCENT DE LA FENNOSCANDIE.

QUELQUES MOTS À PROPOS DE L'ARTICLE DE M. RUNE DANS
CES ANNALES.

PAR *ROLF WITTING*, HELSINGFORS.

1. Résumé de mon mémoire de 1918. En 1918 j'ai publié un mémoire intitulé: *Hafsytan, geoidytan och landhöjningen utmed Baltiska hafvet och vid Nordsjön, Fennia 39, nr 5, Helsingfors.*

Puisque ce mémoire est en suédois et que le compte-rendu de ces annales y renvoie le lecteur je veux en résumer l'idée générale.

L'objet principal de mon mémoire était l'étude du niveau de la mer Baltique, ses variations au cours de périodes d'une certaine durée et la détermination des causes de ces phénomènes. Il me fallait pour base différentes données thalassologiques et météorologiques, celles-ci laissant cependant souvent à désirer. Mais aussi la conception générale de certains phénomènes n'était pas encore formée. J'ai été obligé de créer une base quantitative jusqu'à la limite d'exactitude exigée par le travail, parfois me contentant de procédés approximatifs. Cela a été le cas par exemple pour la question de la circulation des eaux, celle de l'évaporation et d'autres questions intéressantes au point de vue géophysique.

Je crois avoir réussi à exprimer avec une approximation suffisante l'influence qu'a l'atmosphère sur le niveau de la mer par le vent et la pression de l'air en démontrant l'existence d'un rapport vectoriel. L'ascension du niveau de la mer tombe à droite du gradient barométrique, dans l'hémisphère du sud à gauche, et l'ascension est proportionnelle à la grandeur du gradient. Voilà l'influence unie de la pression barométrique et du vent pendant un temps assez long pour que les oscillations de courte durée soient effacées. La grandeur de la déviation et du coefficient de l'ascension dépendent de faits purement thalassologiques. J'ai osé appeler ce rapport *la loi anémobarique*. Puis, me basant sur les résultats des recherches thalassologiques des dernières décades, j'ai cherché à fixer l'inclinaison du niveau de la Baltique provenant de l'influence anémobarique, de la stratification des eaux et de leurs mouvements.

Toutes ces questions sont très étendues et les faits à ma disposition étaient souvent insuffisants et malgré une critique détaillée les faits les plus importants

mêmes se rapportant au niveau de la mer et à la pression barométrique ne peuvent être dits exempts d'erreurs. J'ai vu qu'on se trompe aisément en appréciant l'exactitude des résultats d'après les erreurs internes provenant du travail en cours. En avançant dans mes recherches, j'ai fait de temps en temps pour contrôler mes calculs des estimations de l'ordre de grandeur des erreurs, mais le contrôle de l'enchaînement des différentes étapes du travail ne s'obtient qu'en examinant les résultats eux-mêmes.

Ce contrôle était à ma portée par la comparaison de l'inclinaison moyenne du niveau de la mer calculée par moi avec les nivellements de précision faits dans les pays environnants. Il en est résulté une concordance, sur laquelle je reviendrai, qui a permis la correction de certaines erreurs accidentelles assez grandes ainsi que de quelques erreurs systématiques du nivellement. Le calcul thalassologique même du niveau de la mer a fourni ainsi une *méthode de nivellement* complémentaire des nivellements de précision terrestres et en certains cas celui-là a été supérieur à ceux-ci.

L'étude du soulèvement de la Fennoscandie s'appuyait jusqu'alors sur l'examen des variations de la hauteur relative de la mer et de la terre. Cette conception plus nette des variations du niveau de la mer a permis la correction des données du niveau et par là une détermination plus précise du soulèvement. Il n'y avait pas en ce cas de voie indépendante extérieure pour contrôler les résultats; j'ai donc été obligé de m'appuyer sur une étude de ces résultats mêmes et ainsi j'ai constaté une exactitude suffisante. J'ai pu avec certitude conclure que le soulèvement *variait* durant la période étudiée; il était ainsi différent au commencement et à la fin de la période. Mais encore, ayant relevé que, si en certains cas les fluctuations annuelles du soulèvement n'étaient pas certaines, il y en avait d'autres d'une exactitude sûre, j'ai essayé d'étudier le phénomène d'une année à l'autre. Bien que les erreurs rendissent les fluctuations quelque peu confuses, il était cependant possible de discerner des traits caractérisant le soulèvement d'une année à l'autre comme *discontinu* et dépendant à un certain degré des troubles sismiques. J'ai trouvé alors vain d'essayer de délimiter des régions aux conditions semblables, quoiqu'il en existât évidemment.

Les recherches portant sur la même période, les résultats des différentes stations étaient parfaitement comparables et il en ressortait un centre de soulèvement nettement marqué en Norrland en Suède. La critique et la comparaison de ces résultats avec des données historiques et archéologiques confirmant notre conception, j'ai osé prétendre que le soulèvement de la Fennoscandie était dans ses *grandes lignes* un phénomène *présentant les mêmes caractères* à travers les derniers millénaires, tandis *qu'en détail* il accuse des *discontinuités*.

J'ai conclu en exprimant le désir de certaines améliorations quant à la précision des observations et l'espoir que ce champ de recherches éveillera de l'intérêt.

2. Critique dudit mémoire. Les résultats présentés dans ce mémoire ont soulevé des discussions, dernièrement dans ces Annales. J'énumère les notices qui, ce me semble, demandent une réfutation de ma part.

1) G. A. Rune: Sous la rubrique «litteratur» une polémique. Ces Annales 1920, p. 177. (Rune I).

2) G. A. Rune: Undersökningar angående noggrannheten i Sveriges precisions-avvägning, 1886—1905, Uppsala 1920, (Rune II), dont le compte rendu par Bengt Aurell se trouve dans ces Annales 1920, p. 266.

3) Une notice anonyme dans Ymer 1921, p. 353, »om Sveriges nutida nivåförändringar enligt nyaste siffror».

4) G. A. Rune: Quelques remarques au mémoire de M. Witting etc. Ces Annales 1922, p. 194. (Rune III).

3. Réponse sur un détail. Tout d'abord je veux répondre directement à une remarque commune à Rune I et à l'article anonyme de »Ymer» destiné à un plus large public. Pour prouver l'improbabilité des valeurs que j'obtiens pour le soulèvement, tous les deux citent pour la pointe septentrionale de l'Öland le chiffre de 0,87 cm par an qui contraste avec les chiffres des points environnants. Je n'ai jamais donné ce chiffre. Il est calculé par quelqu'un d'autre, évidemment en violant le principe des valeurs comparables, lequel, en traitant un phénomène comme celui-ci, doit infailliblement être suivi, ainsi que je vais le montrer ailleurs. Ensuite ce chiffre a été cité contre moi. Je me suis borné aux trois premières valeurs déduites des périodes de trois ans, mais j'ai omis la quatrième parce que je n'avais pas la valeur de 1912 à ma disposition. (Voir page 272 de mon mémoire.) Pour être juste, le calcul avait à considérer cette valeur en interpolant et en tenant compte des valeurs de la p. 258; on serait ainsi arrivé à des valeurs beaucoup plus basses, comme le montre aussi une comparaison avec les chiffres ci-dessous. Mais encore, j'ai omis dans l'examen définitif de l'élévation résultante les chiffres pour la station de Öland (voir p. 274), parce que je n'avais pas les moyens de contrôler en quoi les chiffres pouvaient bien dépendre du contrôle insuffisant de l'échelle (p. 283—4). Voilà deux raisons qui m'empêchaient d'employer ce chiffre de 0,87, et j'ai peut-être le droit de protester contre cette citation.

Mais arrêtons-nous un peu aux deux stations de »Ölands norra» et de Västervik pour ne plus y revenir. Nous trouvons d'après mes données corrigées du niveau de la mer par la méthode des moindres carrés, et en calculant un chiffre de 1912 pour »Ölands norra» à l'aide de Västervik, les chiffres ci-dessous comme soulèvement résultant en cm par année, exhaussement signe positif:

	1898—1905	1905—1912
Ölands norra	+ 0,90 ± 0,15	— 0,17 ± 0,25
Västervik	+ 0,63 ± 0,12	— 0,12 ± 0,09

Les valeurs pour cette pointe de l'Öland ressortent encore plus élevées si l'on dispose les périodes de la façon suivante:

	1899—1907	1907—1911
Ölands norra	+ 1,11 ± 0,12	— 0,97 ± 0,21

S'il est hors de question que ces deux échelles aient subi d'abord une élévation, puis un abaissement, c'est-à-dire si elles ont été sous un contrôle de nivellement suffisant et que les observations soient en effet bonnes, ce que pourrait prouver une comparaison détaillée des chiffres quotidiens avec les chiffres de Landsort et Karlskrona, nous avons ici une région de grande irrégularité.

Une explication géologique de la région cambro-silurienne de l'Öland en ce qui regarde son caractère de région d'irrégularités locales n'étant pas impossible, une étude détaillée est à désirer. Le parallélisme de ces deux stations, la pointe septentrionale de l'Öland et Västervik, indique peut être qu'une critique plus approfondie pourra lever les doutes bien naturels que j'avais à leur égard, n'étant pas à même de les contrôler.

4. Généralités. Du reste, les trois premières notices ne contenant qu'un refus en termes généraux d'accepter certains de mes résultats, je suis heureux de trouver dans la quatrième ces remarques précisées et prêtant ainsi à la discussion. La lecture de mon mémoire offre sans doute la meilleure réfutation, mais mon procédé dans celui-ci ayant été parfois mal-compris, et ce mémoire en suédois étant peu accessible à bien des personnes, il m'a semblé utile de saisir l'occasion d'expliquer à nouveau mon point de vue.

Je n'ai pas le temps de réfuter les remarques une à une; je préfère les résumer en leurs points essentiels pour les examiner ensuite.

Tout d'abord je voudrais faire une remarque générale à propos du point de départ de M. Rune: «les plus exactes valeurs». Il ne s'agit pas ici des valeurs les plus exactes, mais bien de *parvenir à une conception nette d'un phénomène de grande étendue à travers l'espace et le temps*. Nous suivons des voies absolument différentes; la mienne est celle du géophysicien recherchant avant tout les phénomènes et leurs rapports et ne regardant les chiffres que comme des moyens pour leur compréhension. La voie de M. Rune est celle du calculateur, qui veut avant tout exprimer une série de valeurs en peu de chiffres.

C'est évidemment là pourquoi la critique (Rune II p. 25 p. ex.) ne voit pas la différence entre d'une part le procédé de traiter les variations du niveau de la mer, où n'entre qu'une différence de pression barométrique ou bien l'écart de cette pression de 760 mm. pour quelques stations et d'autre part, l'emploi du rapport vectoriel anémobarique de la pression barométrique et du vent à l'ascension du niveau, rapport qui exprime une causalité réelle.

En suivant la voie du géophysicien on est naturellement aussi obligé de recourir

31 *Geografiska Annaler* 1922.

aux moyens du calculateur, mais c'est alors plus facile de ne pas perdre de vue la réalité qu'expriment les chiffres et de ne pas permettre à ceux-ci d'obscurcir les phénomènes eux-mêmes. Je fais ici allusion à l'examen de l'exactitude où, en suivant la voie du calculateur, on est facilement amené à négliger le vrai caractère des écarts restants c.-à-d. à les prendre pour des erreurs, par quoi on peut arriver à un cercle vicieux. Le calculateur amasse ces données d'exactitude pour parfois ne pas en faire usage. Je trouve qu'on peut souvent se contenter de déterminer le degré d'exactitude et d'en tenir compte dans l'examen. Pour exclure tout malentendu j'ajoute cependant ici des données d'exactitude aux chiffres que je vais avancer.

5. Les principales remarques sont les suivantes:

a) par inattention j'ai négligé d'indiquer dans les constantes anémobariques non-compensées les erreurs moyennes faites en fixant ces constantes;

b) j'ai fait une compensation erronée de ces constantes, et donc l'exactitude qui en découle n'est pas réelle;

c) les valeurs que j'ai trouvées pour les constantes en considérant la marche du phénomène au cours des 12 mois de l'année ne peuvent être appliquées au phénomène d'une année à l'autre;

d) en outre la correction anémobarique des moyennes annuelles est trop insignifiante pour être de quelque conséquence;

e) en discutant les écarts restants de ces valeurs corrigées le critique ne trouve pas assez d'écarts de grandeur excessive pour permettre de conclure à des fluctuations du soulèvement;

f) les erreurs dans mes valeurs corrigées étant trop grandes, «rien ne fait soupçonner une périodicité quelconque» dans le soulèvement de la Fennoscandie.

6. Mon inattention. Pour la remarque a), un coup d'œil dans mon mémoire p. 93, 95 et 137 montre que j'ai calculé les écarts correspondants dans plusieurs cas. Ces écarts sont du même ordre de grandeur que ceux que cite M. Rune. (Si l'on ne considère pas les lignes pour la Mer du Nord qui ne prétendent pas atteindre à la même exactitude que les autres, on a ici d'après M. Rune $m_2/m_1 = 0,41$, m_1 exprimant l'écart moyen dans les différences de niveau non corrigées, m_2 l'écart dans ces mêmes différences corrigées pour l'influence anémobarique avec les constantes non-compensées. Si nous appelons m_c la partie des écarts éloignée, il s'en suit que $m_c = 0,9 m_1$, valeur assez satisfaisante). Je reviendrai sur la signification de ces écarts. Mais l'ordre de grandeur une fois fixé, et n'ayant point besoin des écarts moyens ligne par ligne, il n'était pas nécessaire de les citer pour ces lignes au nombre de plus de cent. D'autant plus que par les compensations nous obtenons une indication nouvelle se rapportant cependant, par contraste avec le calcul des écarts pour les lignes, aux erreurs des constantes, quoique seulement aux erreurs internes.

7. Mon oubli. Passons à la remarque b) sur ma compensation erronée. Dans sa déduction (p. 198—199. Rune III) M. Rune croit prouver la fausseté de cette compensation qui selon lui proviendrait de ce que j'ai oublié que les constantes anémobariques des différentes lignes sont dépendantes les unes des autres. Mais c'est là le principe même de la compensation. Les constantes doivent satisfaire à certaines conditions; mais elles ne le font pas, c'est pourquoi elles ont été égalisées en tenant compte de ces conditions.

Toute la polémique se rapporte donc à tout autre chose que ma compensation. La déduction de M. Rune repose sur l'hypothèse que je me suis servi pour les trois côtés d'un triangle de la même mesure du champ anémobarique, c.-à-d. que les ΔB d'un triangle et les θB sont identiques. Il n'en est point ainsi. En deux cas seulement, pour le triangle le plus septentrional et pour un triangle très petit à l'entrée du golfe de Finlande, les mêmes valeurs ont été employées pour tous les côtés. Ici l'emploi de différentes valeurs pour chaque côté n'aurait été qu'une formalité. Pour tous les autres triangles cette affirmation ne tient pas. Mais encore — la compensation porte plus loin que ne le remarque le critique; elle ne vise pas seulement à égaliser des erreurs provenant du niveau de la mer, mais tout autant à égaliser les erreurs de la pression barométrique, erreurs qui entrent aussi dans les constantes anémobariques. La discussion des données avait montré qu'il y a aussi des erreurs dans les chiffres de la pression barométrique; c'est naturellement difficile de tracer les isobares correctement sur la mer en se basant seulement sur des données pour les côtes. Une autre mensuration dans une orientation différente répartira les erreurs d'autre façon. La compensation a donc un *double* but et il n'y a rien d'étrange à ce qu'elle diminue les erreurs. Elle nous donne encore davantage: elle fait apparaître quelques erreurs systématiques — l'influence locale de l'afflux d'eau douce.

La compensation que propose M. Rune est plutôt une compensation de triangle que de réseau. Elle sera correcte, si l'on y ajoute les erreurs de la pression barométrique en tant qu'inconnues; cela ferait une multitude d'inconnues qui rendrait la voie impossible à suivre. Déjà telle quelle, avec ses 18 inconnues pour un seul triangle, la voilà bien assez pénible, M. Rune lui-même l'a bien trouvé. D'ailleurs en tout problème géophysique il ne s'agit pas dans les calculs de compensation ou autres de trouver la méthode qui donne la plus grande exactitude théorique; la méthode n'a besoin que de présenter des erreurs moindres que celles des meilleures observations et avant tout elle doit être rapide.

Je veux ici répondre à une remarque que M. Rune n'a peut-être pas faite expressément, mais qui est sous-entendue, lorsqu'il désire traiter l'erreur du niveau de la mer (V) mais pas l'erreur de la déclivité (ΔV). Les erreurs dans les chiffres du niveau de la mer ne sont pas élémentaires mais complexes. L'erreur dans la déclivité, c.-à-d. la différence entre les niveaux de la mer à deux stations, est

de la même espèce que l'erreur dans une même valeur pour le niveau de la mer. Dans notre cas faire une distinction entre elles ne peut avoir qu'un intérêt théorique et secondaire. C'est la déclivité qui nous intéresse et pour égaliser nos constantes nous n'avons besoin de déterminer ni l'erreur de la pression barométrique, ni celle de la surface.

8. La nature de la relation anémobarique. La remarque c) que la marche anémobarique d'une année à l'autre serait essentiellement différente de celle des douze mois de l'année montre la différence entre le point de vue du calculateur et le mien. A ce sujet j'ai, dit dans mon mémoire qu'il peut éventuellement exister une pareille différence, particulièrement pour le nord, mais qu'elle est de peu d'importance. Il ne s'agit pas ici d'un tâtonnement de calcul, où l'on introduit un terme dans une formule d'égalisation pour tenir compte d'une influence supposée. L'important, c'est que nous avons ici une relation réelle, une loi exprimant une véritable dépendance. Pour les différents mois de toutes les saisons elle apparaît de la même manière dans mes cartes et, comme nous le montrent les calculs pour les différents mois de 1905 et les moyennes générales de 1898—1912, cette relation est essentiellement linéaire. La pression barométrique de ces deux séries est tout à fait différente, mais les constantes de déclivité apparaissent néanmoins avec les valeurs moyennes respectives de 0,55 et 0,54 et la déviation avec 49° et 45° pour la Baltique.

9. La correction des valeurs annuelles. Il est aisé de comprendre que l'égalisation anémobarique des moyennes annuelles pour les différentes lignes atteint de plus basses valeurs que celle des moyennes mensuelles, remarque d). M. Rune indique qu'après la correction avec les constantes anémobariques non compensées les écarts restants moyens sont de 52 % des écarts moyens mensuels totaux et 84 % des écarts annuels, c'est-à-dire que la correction est respectivement de plus de 0,8 et 0,5 des écarts totaux moyens. Les valeurs des gradients barométriques annuels sont plus basses que celles des gradients mensuels, tandis que les différences du niveau de la mer annuelles et mensuelles sont du même ordre de grandeur. Outre que la correction anémobarique doit donc être plus petite pour les moyennes annuelles que pour les moyennes mensuelles, les fluctuations du soulèvement influent encore avec leur valeur totale ou presque totale sur une suite de moyennes annuelles tandis qu'elles n'entrent que pour $\frac{1}{15}$ dans les moyennes mensuelles générales de nos 15 années. Cette circonstance contribue aussi à rendre la correction anémobarique plus sensible pour les moyennes mensuelles que pour les moyennes annuelles.

Mais examinons les chiffres eux-mêmes. Nous écrivons côte à côte pour les deux points septentrionaux, Ratan et Brändö, les chiffres absolus des niveaux, les chiffres exprimant les différences de niveau de la mer Ratan-côte allemande

Année	Brändö			Ratan		
	Valeurs directes	— Côte allemande	Corrigées	Valeurs directes	— Côte allemande	Corrigées
1898	+ 23,0	+ 17,7	+ 15,8	+ 20,2	+ 14,9	+ 13,
1899	+ 27,0	+ 6,2	+ 11,2	+ 30,0	+ 9,2	+ 15,
1900	— 1,8	+ 6,3	+ 8,9	+ 2,0	+ 10,1	+ 13,
1901	— 12,2	+ 1,5	+ 9,6	— 10,2	+ 3,5	+ 12,
1902	— 2,4	+ 2,3	+ 5,8	— 4,4	+ 0,3	+ 3,
1903	+ 25,0	+ 10,4	+ 3,8	+ 26,2	+ 11,6	+ 4,
1904	— 2,2	+ 4,7	+ 1,9	— 5,2	+ 1,7	— 0,4
1905	+ 4,0	— 0,9	— 1,2	+ 2,0	— 2,9	— 3,0
1906	+ 2,2	— 1,4	— 2,6	+ 1,8	— 1,8	— 2,4
1907	— 3,2	— 0,5	— 6,3	+ 0,6	+ 3,3	— 2,6
1908	— 20,0	— 9,6	— 8,0	— 20,6	— 10,2	— 8,3
1909	— 7,6	— 3,9	— 7,3	— 9,0	— 5,3	— 8,3
1910	— 12,2	— 8,0	— 10,3	— 12,8	— 8,6	— 9,9
1911	— 4,2	— 8,1	— 10,3	— 8,6	— 12,5	— 14,4
1912	— 8,8	— 10,1	— 10,5	— 13,0	— 14,3	— 13,6

et Brändö-côte allemande et enfin les valeurs obtenues en ajoutant à ces chiffres nos corrections, unité demi-centimètre.

L'égalisation est évidente. Dans les chiffres corrigés le phénomène apparaît beaucoup plus régulier que dans les chiffres absolus, employés dans le calcul de «l'élévation absolue», et que dans les différences non corrigées qui seraient presque aussi exactes que les chiffres corrigés!

Nous trouvons en calculant un soulèvement linéaire d'après les différences de niveau de la mer corrigées et non corrigées pour quelques stations relativement à la côte allemande des années 1901—1908 les écarts moyens suivants des moyennes annuelles du niveau de la mer en cm:

	Non corrigée	Corrigée	Non corrigée(soulèvement selon les valeurs corrigées)
Ratan	$\pm 2,73$	$\pm 1,23$	$\pm 2,97$
Brändö	$\pm 2,26$	$\pm 0,29$	$\pm 2,56$
Björn	$\pm 1,66$	+ 0,86	$\pm 1,84$
Landsort	$\pm 1,18$	$\pm 0,81$	$\pm 1,30$
Ystad ...	$\pm 0,48$	$\pm 0,38$	$\pm 0,57$

En moyenne pour le niveau de la mer annuel corrigé $\pm 0,71$ cm, pour le niveau annuel non corrigé $\pm 1,66$ cm ou, selon la manière de s'exprimer de M. Rune, 58 %, mais en réalité 0,9 des écarts contre les 0,5 cités auparavant. J'ai choisi les points au hasard. Pour les autres points on trouvera évidemment des écarts moyens plus grands, ainsi que d'autres plus petits.

Mais comment expliquer la différence entre les résultats que donne M. Rune et ceux qui ressortent des tables. Il est évident que l'influence anémobarique ne peut être grande pour les lignes isolées qu'examine M. Rune, tandis qu'elle s'accroît davantage pour de plus longues distances. L'erreur réelle dans le chiffre du niveau moyen annuel de la mer est très petite pour les bonnes stations. S'il existe des fluctuations, je ne dirai pas ici davantage, elles doivent apparaître moins marquées pour de longues distances que pour de courtes, la correction anémobarique qui s'y ajoute étant plus petite pour celles-ci que pour celles-là. Les écarts doivent donc ressortir précisément tels que je les ai trouvés ci-dessus.

10. Les écarts excessifs. Nous arrivons maintenant à l'examen que fait M. Rune des écarts excessifs, remarque e) p. 203. Après force discussions avec beaucoup d'hypothèses, il conclut en résumé que, pour être considérées comme réelles, les fluctuations du soulèvement doivent dans un certain nombre de cas dépasser une valeur déterminée. Cette hypothèse présume une connaissance de la fréquence des fluctuations de différente grandeur que nous ne possédons pas encore, et aussi que ces fluctuations ne sont pas réparties selon la loi commune des erreurs. En dernier lieu toute cette manière de voir revient à la supposition qu'il existe une élévation continue sans fluctuations. Enfin M. Rune n'utilise point pour sa statistique les points où ces fluctuations sont les plus prononcées.

A propos des bords de la Fennoscandie M. Rune ajoute qu'ici, où nous pouvons le plus facilement inférer des fluctuations plus prononcées et irrégulières, celles-ci se rapportent à l'agitation de la surface plus grande en ces lieux. Il renvoie aux écarts restants qui sont ici plus grands qu'ailleurs; il faut toutefois remarquer que ces écarts contiennent non seulement les erreurs de la pression barométrique mais aussi des écarts causés par les fluctuations et qu'en outre les stations allemandes de la Baltique étant plus proches se rattachent mieux que les stations de la Fennoscandie à notre point de départ, une partie délimitée de la côte allemande. Il faut encore mentionner que l'onde annuelle des fluctuations du niveau de la mer monte pour la côte allemande à environ $\frac{2}{3}$ de l'onde pour la côte du golfe de Bothnie et l'onde demi-annuelle pour celle-là à environ $\frac{1}{3}$ de l'onde pour celle-ci quand nous considérons les différentes années; les moyennes de plusieurs années donnent respectivement $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$, ce qui indique un niveau plus calme au sud qu'au nord. La même chose ressort des valeurs du niveau de la mer d'un mois à l'autre.

11. Pas de soupçon de fluctuation. C'est à ce sujet que, dit M. Rune, «une étude détaillée comme celle de M. Witting sur les irrégularités de l'élévation n'est pas possible» et «M. Witting a poussé à l'excès ses conclusions sur ce problème». Suit alors cette remarque: «rien ne fait soupçonner une périodicité quelconque dans l'élévation fennoscandinave comme l'a fait M. Witting». C'est donc à la réalité des fluctuations dans le soulèvement qu'il en veut.

Un renvoi aux pages 271—273, 289—292 et à la table II de mon mémoire devrait suffire, mais pour que le lecteur ait les chiffres sous les yeux je veux présenter une combinaison en me servant pour plus de commodité de la méthode des moindres carrés. J'étudierai à part la première et la seconde moitié de la période en question et je déterminerai selon la formule $k + tx$ le soulèvement ressortant des moyennes annuelles pour le niveau de la mer en un certain nombre de stations reliées à «la côte allemande» $\frac{1}{3} [\frac{1}{2} (\text{Warnemünde} + \text{Wismar}) + \text{Swinemünde} + \text{Pillau}]$.

Nous trouvons, unité centimètre:

	Soulèvement moyen 1898—1905	Soulèvement moyen 1905—1912	Diff. du soulèv. (1898—1905)— (1905—1912)	Ecart moyen annuel	
				1898—1905	1905—1912
Ratan	+ 1,38 ± 0,19	+ 0,93 ± 0,13	+ 0,45 ± 0,23	± 1,22	± 0,82
Brändö	+ 1,10 ± 0,09	+ 0,56 ± 0,19	+ 0,54 ± 0,20	± 0,56	± 1,20
Draghällan	+ 1,53 ± 0,18	+ 0,50 ± 0,11	+ 1,03 ± 0,21	± 1,14	± 0,74
Räfsö	+ 1,10 ± 0,09	+ 0,33 ± 0,12	+ 0,77 ± 0,15	± 0,60	± 0,80
Björn	+ 0,86 ± 0,18	+ 0,50 ± 0,10	+ 0,36 ± 0,20	± 1,15	± 0,62
Hangö	+ 0,45 ± 0,15	+ 0,47 ± 0,13	— 0,02 ± 0,20	± 0,97	± 0,86
Landsort	+ 0,45 ± 0,19	+ 0,41 ± 0,07	+ 0,04 ± 0,20	± 1,22	± 0,46
Karlskrona	— 0,01 ± 0,29	— 0,04 ± 0,15	+ 0,03 ± 0,32	± 1,86	± 0,97
Ystad	+ 0,15 ± 0,24	— 0,08 ± 0,10	+ 0,23 ± 0,26	± 1,57	± 0,63
Pillau	+ 0,07 ± 0,09	— 0,03 ± 0,09	+ 0,10 ± 0,13	± 0,58	± 0,57
Swinemünde	— 0,01 ± 0,10	+ 0,05 ± 0,05	— 0,06 ± 0,11	± 0,64	± 0,32
Arkona	+ 0,61 ± 0,16	— 0,20 ± 0,09	+ 0,81 ± 0,18	± 1,04	± 0,58
Wismar	— 0,02 ± 0,09	— 0,14 ± 0,08	+ 0,12 ± 0,12	± 0,59	± 0,53
Travemünde ...	— 0,01 ± 0,12	+ 0,45 ± 0,30	— 0,47 ± 0,32	± 0,76	± 1,96
Marienleuchte ...	+ 0,06 ± 0,13	— 0,45 ± 0,31	+ 0,51 ± 0,34	± 0,83	± 2,03

Il est à remarquer que pour les deux périodes de 8 ans la valeur du soulèvement n'est qu'une valeur moyenne de la période. Cette valeur est pour les stations septentrionales décidément plus grande dans la première période que dans la seconde, à Draghällan jusqu'à 3 fois plus grande.

Quant à l'exactitude, pour plusieurs des stations, la différence entre le sou-

lèvement moyen annuel dans la première période et celui de la seconde période se monte à 1, 2, 3 ou 4 même 5 fois la grandeur de l'erreur moyenne; cette différence est donc déterminée avec presque la même exactitude que le soulèvement. *Peut-on douter, en ayant ces valeurs sous les yeux, de la réalité des fluctuations dans le soulèvement!*

Plus au sud, pour la Baltique, nous voyons que les moyennes annuelles du niveau indiquent à plusieurs stations une assez grande constance qui permet de lier les fluctuations de la hauteur de la côte à un phénomène continu avec autant ou plus d'exactitude que pour les stations septentrionales. Mais nous voyons aussi que pour Marienleuchte par exemple et Travemünde pendant la seconde période de 8 ans, pour Karlskrona et Ystad pendant la première, l'erreur moyenne dans le soulèvement se monte à $\pm 0,3$ cm par an. L'incertitude est donc plusieurs fois plus grande qu'au centre même de l'élévation. S'il n'y avait pas de fluctuations irrégulières, d'aussi grandes valeurs seraient impossibles. Les stations environnantes ayant peu de soulèvement et avec des erreurs moyennes peu considérables (comparez tout aussi bien la suite de chiffres du soulèvement p. 289 de mon mémoire), on a le droit de conclure qu'ici, au sudes régions délimitées sont en différentes occasions sujettes à un exhaussement ou un abaissement.

Examinons de plus près quelques-unes de ces fluctuations. Nous prenons les différences des niveaux de la mer corrigés pour Travemünde, Marienleuchte et Wismar en employant comme unité le demi-centimètre et nous obtenons:

	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912
Travemünde—Wismar	+ 1,4	+ 2,0	+ 1,6	+ 2,5	+ 3,5	+ 2,2	— 7,1	— 6,8
Marienleuchte—Wismar	— 2,5	— 1,8	— 1,9	— 2,0	+ 3,3	+ 8,2	— 0,3	— 1,4
Travemünde—Marienleuchte	+ 3,9	+ 3,8	+ 3,5	+ 4,5	+ 0,2	— 6,0	— 6,8	— 5,4
Wismar—côte allemande.....	+ 0,1	— 1,4	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,7	+ 1,5	— 0,7	+ 2,4

En supposant qu'au cours des 4 années 1905—1908 le sol se soit levé en ces trois points d'une manière absolument continue, les écarts dépendraient uniquement d'erreurs dans les données du niveau. Pour les différences de niveaux de la table nous trouvons ainsi une erreur moyenne de $\pm 0,4$ demi-centimètre, mais en admettant des fluctuations du sol ces erreurs en seront d'autant plus petites.

Il est donc évident que nous avons là au bord de la Fennoscandie une variation locale du sol pleinement mesurable. De 1908 à 1910 Marienleuchte seul s'est abaissé (de 10 demi-centimètres), après quoi cette station s'élève de 1910 à 1911 (9 demi-centimètres) accompagnée alors par la station voisine de Travemünde; par contre 1911 et 1912 toutes ces stations restent presque stables. De la dernière ligne de la table contenant les valeurs pour Wismar (rapporté à la

côte allemande) nous voyons clairement que ce sont ces deux stations et non Wismar qui ont fortement oscillé. La simultanéité du phénomène confirme encore le résultat, quoique de telles erreurs doivent à priori être hors de question pour les bonnes données allemandes, à 0,1 mm près, ainsi que pour les données suédoises ci-dessous.

Il faut naturellement qu'un phénomène si prononcé ressorte aussi directement des moyennes annuelles du niveau non corrigées. J'ai antérieurement constaté qu'en moyennes annuelles la déclivité de la surface est assez continue. En évaluant le niveau moyen pour des stations autour d'un certain point, nous trouvons que ce niveau doit assez bien coïncider avec le niveau réel de ce point, pourvu que le sol n'ait pas été secoué. Si nous avons à notre disposition les valeurs pour un certain nombre de stations, nous avons encore cet avantage que les fluctuations du soulèvement des stations de comparaison sont en partie éliminées du niveau d'eau ainsi calculé. Nous faisons maintenant la différence de niveau pour les deux stations et le niveau moyen de Slipshamn, Korsör, Wismar et Warnemünde et obtenons, toutes valeurs non-corrigées et en demi-centimètres:

	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912
Travemünde—moyen	+ 2,5	+ 2,1	+ 1,4	+ 2,0	+ 1,8	+ 1,9	— 8,5	— 7,0
Marienleuchte—moyen.....	— 1,8	— 2,0	— 2,0	— 2,5	+ 2,4	+ 8,4	— 1,3	— 0,4

Ces valeurs correspondent en leurs traits essentiels avec les valeurs données antérieurement.

Encore un exemple: comparons les valeurs corrigées du niveau pour Karlskrona, Ystad et Arkona, unité demi-centimètre.

	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905
Karlskrona—Arkona	— 9,3	— 0,3	— 1,5	+ 0,8	+ 0,5	+ 3,5	+ 2,1	+ 1,8
Ystad—Arkona	— 7,1	+ 1,8	+ 1,1	— 2,0	0	+ 4,4	+ 2,5	+ 1,9
Karlskrona—Ystad	— 2,2	— 2,1	— 2,6	+ 2,8	+ 0,5	— 0,9	— 0,4	— 0,1
Arkona—côte allemande	+ 3,9	+ 5,0	+ 1,9	+ 4,3	+ 2,3	— 3,9	— 3,1	— 2,3

Nous remarquons qu'en 1898—1899 Karlskrona et Ystad s'abaissent nettement (9,0 et 8,9 demi-centimètres) comparées à Arkona, mais entre elles ces deux stations ne varient pas beaucoup les trois premières années. Les années 1900—1903 indiquent de nouvelles discontinuités se rapportant avant tout à Karlskrona et Arkona, la côte allemande supposée stable, mais se répartissant sur Ystad également, si nous choisissons d'autres points de comparaison.

L'examen de ces quelques stations ainsi que le soulèvement moyen des années 1898—1905 et 1905—1912 doivent bien *prouver la réalité des irrégularités dans le*

soulèvement, et qu'en certains cas celles-ci peuvent être suivies d'une année à l'autre aussi bien que localisées, quoiqu'en d'autres cas, par suite de la rareté des stations, le phénomène soit difficile à circonscrire.

12. Les erreurs dans les valeurs annuelles. M. Rune dit qu' «une étude détaillée sur l'irrégularité de l'élévation comme celle de M. Witting n'est pas possible». Mais M. Rune a peut-être «poussé à l'excès» son ardeur critique; il pouvait dire que j'ai fait une description détaillée, mais il aurait dû ajouter que je l'ai faite avec certaines réserves. Oui, j'ai fait une description détaillée; je la referais encore aujourd'hui. Mais dans cette description (entre autres p. 281) j'ai relevé nettement que les fluctuations apparaissent perturbées. Et je continue: l'incertitude qui malgré tout est inhérente à nos valeurs, peut contribuer à une distorsion systématique ainsi qu'à ces perturbations; en ses caractères essentiels le tableau que je fais doit cependant être juste, et quant aux grands changements qui dépassent certainement les limites des erreurs possibles, nous constatons qu'ils correspondent d'une façon naturelle à des variations plus petites; quoiqu'indispensable, un point absolument stable n'existant pas, la supposition de la stabilité de la côte allemande contribue peut-être en quelque mesure à cacher le réelité. L'examen de la marche du phénomène à différentes stations (p. 282 et suivantes) prouve que j'avais pleinement conscience que les limites d'exactitude possibles ont été parfois dépassées et que, pour les échelles non contrôlées par le nivellement, de grandes erreurs sont vraisemblables. J'ai avant tout visé à une description, plutôt hypothétique, où j'ai cherché à montrer que, malgré l'incertitude en certains cas, il ressort une conception essentiellement nette d'un soulèvement variant et d'une relation entre les fluctuations et les troubles sismiques.

Mais avec cette discussion j'avais aussi un but soit disant pédagogique. Ma conviction est que, pour aboutir, tout ce problème du soulèvement dans les rapports de ses causes et de ses conséquences doit être examiné au point de vue de la région et du temps et que pour résoudre le rapport entre ces causes il faut exprimer ces variations sur la carte.

Mieux que personne j'ai compris que dans mon mémoire cette partie tablant sur des moyennes annuelles, corrigées cependant, en était pourtant la moins exacte. Cependant l'exactitude à laquelle je suis parvenu est assez satisfaisante. J'espère que l'examen précédent des faits — en principe similaire aux procédés du mémoire — aura persuadé mes lecteurs de la réalité des fluctuations du soulèvement.

Examinons cependant plus en détail l'exactitude des données annuelles corrigées pour le niveau de la mer. L'exposé que je fais aux p. 261 et 262 de mon mémoire devrait suffire, mais il est évident que je suis obligé de le répéter plus en détail. A la p. 202 du mémoire se trouve déjà un calcul se rapportant à l'ordre de grandeur des erreurs. Craignant de négliger les erreurs systématiques, danger toujours possible quand il s'agit des erreurs internes, je ne me suis pas arrêté là.

Je renvoie à la table précédente, donnant le soulèvement moyen des années 1898—1905 et 1905—1912 p. 467. Nous trouvons, dans les deux dernières colonnes les *écarts restants* qui, l'élévation supposée absolument linéaire, *se composent des erreurs de niveau et des fluctuations*. Essayons maintenant de discerner les effets de ces deux causes dans ces écarts complexes.

Un calcul pour Draghällan p. ex. où l'écart moyen complexe était $\pm 1,14$ cm pour la première période de 8 années et $\pm 0,74$ pour la seconde, donne pour la moyenne annuelle du niveau un écart complexe de $\pm 1,44$, si nous supposons durant les 15 années une élévation linéaire ($1,00 \pm 0,09$ cm) calculée selon la méthode des moindres carrés. Mais en attribuant à la hauteur de la mer des valeurs répondant exactement au soulèvement moyen trouvé, d'abord pour la première période de 8 années, puis pour la seconde, il ressort pour toute la période de 15 ans, le soulèvement supposé toujours linéaire, un écart moyen annuel complexe de $\pm 1,20$ cm. Ce seul changement supposé dans la vitesse du soulèvement en 1905 cause donc «83 %» de l'écart moyen.

Ajoutons encore quelques chiffres calculés comme les précédents, pour une période de 8 années au milieu de la période de 15 années que nous avons déjà étudiée.

	Soulèvement moyen 1901—1908	Écart moyen annuel
Ratan	+ 1,19 $\pm$ 0,19	$\pm$ 1,23
Brändö	+ 1,23 $\pm$ 0,04	$\pm$ 0,29
Draghällan	+ 1,25 $\pm$ 0,23	$\pm$ 1,52
Räfsö	+ 1,05 $\pm$ 0,10	$\pm$ 0,66
Björn	+ 1,04 $\pm$ 0,13	$\pm$ 0,86
Lypertö	+ 1,36 $\pm$ 0,07	$\pm$ 0,44
Lemström	+ 0,82 $\pm$ 0,08	$\pm$ 0,49
Hangö	+ 0,72 $\pm$ 0,11	$\pm$ 0,71
Landsort	+ 0,49 $\pm$ 0,12	$\pm$ 0,81
Karlskrona	+ 0,38 $\pm$ 0,14	$\pm$ 0,88
Ystad	+ 0,40 $\pm$ 0,06	$\pm$ 0,38
Pillau	+ 0,02 $\pm$ 0,07	$\pm$ 0,43
Wismar	— 0,05 $\pm$ 0,08	$\pm$ 0,53

Les écarts moyens complexes que nous avons trouvés dans les moyennes annuelles du niveau de la mer au cours de nos trois périodes (1898—1905, 1905—1912 et 1901—1908) dépassent quelques fois ± 1 cm; dans le plus grand nombre des cas ils tombent entre ± 1 et $\pm 0,5$, quelques-uns descendent audessous de cette limite. De quelque manière que nous disposions nos données pour déter-

miner le soulèvement moyen, il en ressort toujours pour les différentes parties des valeurs différentes, souvent avec des divergences de la constante du soulèvement dépassant de beaucoup l'écart moyenne. Examinons p. ex. Hangö: le soulèvement moyen est pour la période 1898—1905 $+ 0,45$ cm, pour la période 1905—1912 $+ 0,47$ cm, mais pour 1901—1908 $+ 0,72 \pm 0,11$, l'écart moyen annuel est d'environ $\pm 0,8$ cm. Une discontinuité ou une variation lente de la vitesse du soulèvement motive déjà pour une grande part ce chiffre. Mais nous devons de plus en plus conclure que les fluctuations se succèdent d'assez près et nous ne pouvons nous empêcher d'attribuer aux fluctuations la plus grande part de l'écart moyen complexe se montant d'ordinaire à 1,0 et 0,5 cm. Même pour la station d'Ystad, avec un écart moyen de niveau de $\pm 0,38$ cm pour l'époque 1901—1908, les valeurs successives du soulèvement, 1898—1905 $+ 0,15 \pm 0,24$ cm, 1901—1908 $+ 0,40 \pm 0,06$ et 1905—1912 $- 0,08 \pm 0,10$ indiquent des fluctuations si grandes qu'elles sont difficiles à expliquer par les erreurs de niveau. L'exemple de Draghällan, les conditions semblables d'autres stations et les valeurs basses d'Ystad etc. nous mènent donc à évaluer l'erreur moyenne réelle des valeurs corrigées provenant de l'incertitude des observations du niveau de la mer à quelques unités de 0,1 cm.

En me servant d'une méthode qui suit bien le phénomène, je déduis dans mon mémoire que les erreurs probables des moyennes annuelles sont plus petites que $\pm 0,6$ à $\pm 0,4$ demi-centimètres, correspondant à des erreurs moyennes de $\pm 0,45$ à $\pm 0,3$ cm. Dans le procédé d'estimation de mon mémoire (pages 271 et 277) j'introduis pour fixer les idées comme erreur de niveau probable $\pm 0,3$ demi-centimètres correspondant à une erreur moyenne d'un peu plus de $\pm 0,2$ cm.

Toutefois, si les erreurs moyennes réelles de niveau étaient même du double, ce qui semble impossible, ma conclusion subsisterait en ce qui concerne le caractère général irrégulier. Les fluctuations d'une période de trois ans à trois ans et d'une année à la suivante, équivalent souvent, même pour de bonnes stations, à plusieurs fois l'influence possible des erreurs. En ce moment je ne vois aucun procédé direct sûr pour calculer des valeurs absolument exactes de ces erreurs moyennes. A l'avenir, quand nous aurons un réseau de maréographes plus dense, il nous sera possible d'atteindre une estimation très sûre en nous basant sur les comparaisons des données et en délimitant des régions à fluctuations.

13. L'inclinaison du niveau de la Baltique. Reste à examiner la détermination de la surface de géoïde. J'ai renvoyé précédemment à la page 202 de mon mémoire; c'est ici que nous avons un contrôle extérieur à notre disposition: la comparaison avec les nivellements. Aux pages 203 et suivantes se trouvent les valeurs ci-dessous du niveau moyen de 1898—1912 (époque moyenne 1905) rapportées à N. N. Berlin: d'une part on a les valeurs des nivellements, d'autre part celles qui se basent sur mon calcul de l'écart du niveau de la mer par rapport à la surface de géoïde, donc un nivellement thalassologique.

Niveau de la mer 1898—1912 au-dessus de N. N. Berlin, cm.

	Calcul thalassol.	Nivell.	Diff.
Helder	— 15,0	— 15,7	+ 0,7
Vlissingen	— 20,6	— 20,7	+ 0,1
Varberg	— 10,1	— 13,5	+ 3,4
Marienleuchte.....	— 8,1	— 8,5	+ 0,4
Wismar	— 8,1	— 7,4	— 0,7
Gjedser	— 6,8	— 21,6	+ 14,8
Arkona	— 1,7	— 2,5	+ 0,8
Swinemünde	— 0,4	— 2,2	+ 1,8
Memel.....	+ 8,9	+ 8,6	+ 0,3
Ystad	— 0,6	— 12,2	+ 11,6
Karlskrona	+ 2,5	— 4,9	+ 7,4
Västervik	+ 5,0	+ 2,6	+ 2,4
Landsort	+ 6,6	— 14,0	+ 20,6
Björn	+ 9,0	— 5,9	+ 14,9
Draghällan	+ 9,4	— 10,9	+ 20,3
Ratan	+ 11,6	— 13,6	+ 25,2
Toppila (Uleåborg)	+ 14,8	— 11,8	+ 26,6
Wiborg	+ 12,9	— 10,3	+ 23,2
Toppila—Wiborg	+ 1,9	— 1,5	+ 3,4

La réduction des données finlandaises à NN Berlin se base sur le rattachement au nivellement suédois à Haparanda. C'est pourquoi une correction d'environ 25 cm est nécessaire. Ce sont donc les différences Toppila—Wiborg de resp. + 1,9, — 1,5 et + 3,4 dont nous avons besoin pour la comparaison.

La coïncidence merveilleuse aux stations des Pays-Bas pour lesquelles le nivellement thalassologique traverse les détroits danois et toute la Mer du Nord peut, ainsi que je l'ai relevé, être accidentelle, l'étude sur la mer du Nord ayant ici un caractère supplémentaire. Il en est autrement pour la côte allemande.

M. Rune (II, p. 28 et 31) relève que la correction anémobarique n'atteint que $\frac{1}{3}$ de la correction dynamique qu'il trouve incertaine et il donne à entendre que la déclivité de la Baltique ne s'élève peut-être qu'à la moitié des chiffres que je donne. Examinons maintenant les valeurs se rapportant à la côte allemande pour laquelle nous avons un nivellement excellent. De Marienleuchte à Memel, le long de la côte méridionale de la Baltique, l'ascension dynamique du niveau de la mer, s'élève à 6 cm, l'élévation anémobarique à 6,7 cm. En ajoutant pour Memel la correction nécessaire pour l'afflux d'eau douce, de 4,5 cm, nous obtenons une

ascension totale de 17 cm, correspondant aux 17,1 cm du nivellement. De Ratan à Marienleuchte, à travers presque toute la Baltique, la déclivité dynamique du niveau se monte à 10,6 cm. Un calcul beaucoup moins détaillé que le mien montre déjà qu'en admettant une déclivité dynamique de 6 cm des parages de Memel à Marienleuchte et en se basant sur la moindre densité vers l'intérieur de la Baltique, nous devons nous attendre à une déclivité du même ordre de grandeur de Ratan à Memel nous avons en effet 4 à 5 cm. A la déclivité anémobarique de Memel à Marienleuchte, 6,7 cm correspond la déclivité anémobarique de 2,4 cm de Ratan à Memel, valeur pleinement expliquée par le caractère de la répartition barométrique et du gradient plus faible dans le golfe de Bothnie. La déclivité totale des parages de Memel (sans les perturbations causées par l'afflux d'eau douce dans le port de Memel) à Marienleuchte, 12,6 cm contrôlés pour autant qu'il est possible par le nivellement, correspond bien à la déclivité de Ratan aux parages de Memel, 7,1 cm. Il est impossible de rabattre ces valeurs de la moitié comme l'a fait M. Rune; une fois admise l'ascension le long de la côte allemande, il n'y a pas non plus moyen d'y rattacher une déclivité de la Baltique depuis les parages au sud de Gottland vers l'intérieur; les vents résultants du SW et l'eau de plus en plus douce vers le fond du golfe s'y opposent.

Vu les difficultés du terrain à cause des profondes vallées, il n'est pas étonnant que le niveau de zéro du nivellement suédois monte autant vers le Nord. Une compensation nouvelle, se basant sur un calcul thalassologique de la surface de géoïde et sur des observations du niveau de la mer se rapportant à une période homogène, par exemple 1898—1912, ne demanderait pas beaucoup de travail. En plaçant des maréographes temporaires pour un mois ou deux à plusieurs points où le réseau actuel s'étend jusqu'à la mer, et en reliant les enregistrements de ces maréographes à ceux des grands maréographes permanents, on obtiendrait à plusieurs points pour la compensation des corrections de nivellement plus exactes. La compensation de l'ancien réseau, aussi par rapport au soulèvement, augmenterait de beaucoup la précision du nivellement.

14. Exigence de valeurs comparables. Les valeurs les plus exactes.

Ayant dans ces remarques avant tout traité de la question du soulèvement, je saisis l'occasion de relever quelques principes qui seront peut-être utiles à une discussion future de cette question, après quoi je finirai en communiquant quelques résultats provisoires.

Le soulèvement du sol étant de la même nature que tous les phénomènes que nous pouvons observer sur la terre, c.-à-d. différent à différentes époques et en différents endroits, il est nécessaire en l'étudiant de s'en tenir à des valeurs entièrement comparables. Pas plus qu'on ne peut comparer les quantités de pluie par exemple ou des pressions barométriques de différentes époques, il n'est possible de comparer des chiffres d'élévation se rapportant à de époques différentes.

En voici un exemple. A l'aide de chiffres de niveau non corrigés, j'ai calculé d'après la méthode des moindres carrés le soulèvement moyen à Rönnskär au large de Wasa, à Hangö et à Swinemünde pour une période de 30 ans (1873—1902), dans cette période une autre de 25 ans (1875—1899) et dans celle-ci encore la période (1878—1897) de vingt ans. Je tiens à souligner que ces anciennes observations sont assez sûres bien que quelques corrections puissent résulter d'un examen plus détaillé. Nous trouvons, unité centimètre:

	1878—1897	1875—1899	1873—1902
Rönnskär	+ 0,89 $\pm$ 0,15	+ 0,55 $\pm$ 0,12	+ 0,84 $\pm$ 0,11
Hangö ..	+ 0,59 $\pm$ 0,16	+ 0,19 $\pm$ 0,15	+ 0,47 $\pm$ 0,13
Swinemünde	+ 0,22 $\pm$ 0,12	— 0,13 $\pm$ 0,12	— 0,02 $\pm$ 0,09

Comme on le voit, les valeurs pour la période de 20 ans sont les plus grandes, celles pour la période de 25 ans les plus petites, nous y remarquons même un abaissement pour Swinemünde, tandis que les chiffres pour la période de 30 ans tombent entre ceux de la période de 20 ans et ceux de la période de 25 ans, plus près de ceux-là que de ceux-ci. En supposant que pour obtenir des périodes aussi longues que possible nous prenions pour les trois stations les valeurs de + 0,89, + 0,19 et — 0,02 cm par an du nord au sud ou encore que nous disposions des observations de manière que les plus longues périodes pour chaque point donnent resp. + 0,55, + 0,59 et + 0,22 il est évident qu'il en ressortirait une fausse image du phénomène. On comprend qu'ici *le principe des valeurs comparables* doit être observé; il est déjà motivé uniquement par l'influence des valeurs variables et excessives du niveau d'eau.

M. Rune a donné récemment dans ces Annales, ainsi qu'antérieurement (Rune II, p. 24), des valeurs qu'il appelle ses «valeurs absolues», doutant qu'il en puisse exister d'autres plus exactes. Je ferai plus tard des remarques sur ces valeurs de M. Rune, je ne veux ici que relever l'erreur capitale. A ses valeurs absolues hétérogènes et donc incomparables, il ajoute, p. 206 de ces Annales, des erreurs moyennes justes. Mais en comparant ses propres valeurs aux miennes il répète ses chiffres sous forme de différences entre ces valeurs hétérogènes, p. 209 des Annales, colonne 14, et il y ajoute tout simplement les erreurs moyennes obtenues en déterminant le soulèvement d'après les différences du niveau de la mer en deux stations, colonne 9. Il n'en a pas le droit. Cela revient au même que si en me basant sur les valeurs pour Rönnskär 1875—1899, + 0,55 $\pm$ 0,12 et pour Swinemünde 1878—1897 + 0,22 $\pm$ 0,12 je donnais une élévation différentielle de 0,33 cm en y ajoutant une erreur moyenne d'environ $\pm$ 0,05 déduite des différences de la partie commune à ces deux périodes.

15. Les méthodes de calcul. Les valeurs absolues. Quand de la conception d'une diminution de l'eau on en vint à admettre une élévation du sol, et qu'en se basant sur les observations commencées à cette époque on constata que le niveau de la mer variait d'une année à l'autre, il était bien naturel qu'on tint ces variations pour accidentelles et que l'on cherchât à les éliminer. L'emploi que fit A. E. Nordenskiöld en 1858, à ce que je crois le premier, de la méthode des moindres carrés, indiquait alors un progrès. Il en était de même de l'effort pour obtenir des séries d'observations aussi longues que possible à cause de l'augmentation du poids vers les extrémités de chaque période, un effort que fait encore aujourd'hui M. Rune. Cette méthode est encore admissible lorsqu'il s'agit de trouver le chiffre caractéristique pour un phénomène au sujet duquel il n'existait rien qu'une suite de valeurs pour une certaine période et pour un seul point. En nos jours elle ne suffit plus pour un examen scientifique du problème du soulèvement de la Fennoscandie.

Du mémoire de MM. Blomqvist et Renqvist (Fennia 37, n:o 1, Helsingfors 1914) ressortait déjà une certaine relation entre les chiffres de soulèvement pour des points différents durant des périodes définies, le principe des valeurs comparables s'y manifestant. Mais, logiquement, M. Renqvist, (Tekniska föreningens förhandlingar, Helsingfors 1914), avança encore d'un pas. Pour écarter l'influence de niveaux excessifs de la mer sur ses valeurs calculées pour le soulèvement se rapportant à des périodes courtes, donc pour rendre les valeurs plus absolues, il prit pour point de départ les observations de longue durée à Swinemünde, et du soulèvement pendant la période courte et pendant la période la plus longue que possible il déduisit des corrections qu'il ajouta à ses valeurs comparables.

Mon point de départ c'était la mer, mon vrai champ de travail. J'ai constaté de grandes variations du niveau de la mer et il ne me semblait pas du tout sûr que le niveau de la mer ne fût pas sujet à des variations grandes ou d'une durée plus longue que les époques que comprennent nos observations. Une méthode qui se base sur la constance supposée du niveau de la mer exprimée en données pour quelques décades, *n'est point une méthode absolue*. C'est en partie pour accentuer ceci que j'ai comparé dans mon mémoire la hauteur de la côte selon les chiffres «absolus» du niveau de la mer à la hauteur ressortant de mes calculs; c'est là aussi ce que n'a pas compris M. Rune, mais qu'il critique. L'élévation, étant en effet un soulèvement réel de la Fennoscandie, quoiqu'irrégulier, et variable, la correction naturelle est de choisir *un point* quelconque *à la surface de la terre* et d'y comparer la hauteur des points étudiés. J'ai choisi pour point de comparaison principal une région constatée comme presque stable, mais je me suis aussi servi d'autres, voir pages 289—292 de mon mémoire. Dans son article le plus récent, M. Rune emploie aussi pour ses calculs les différences entre deux stations, progrès sensible. Mais il maintient cependant que «ses valeurs absolues»

pour une période aussi longue que possible, sont les meilleures qu'on puisse obtenir, et il applique, comme je l'ai relevé, des erreurs moyennes différentielles à ses valeurs absolues hétérogènes.

La méthode différentielle n'est cependant qu'un premier pas. La Baltique suit dans ses grands traits les variations de l'océan, mais une année elle incline d'un côté de sa position moyenne, une autre année d'un autre côté. Puisque c'est le niveau de la mer qui nous indique les hauteurs relatives de nos stations, la conséquence naturelle, c'est de tenir compte pour autant que possible de ces variations d'inclinaison en ajoutant au premier grand terme qui, par la formation de différences, élimine les variations générales des masses d'eau, d'autres termes reproduisant *l'inclinaison variante*. Voilà ce que j'ai cherché à faire.

M. Rune me reproche de ne m'être pas servi de la méthode des moindres carrés qui selon lui m'aurait permis d'atteindre à des résultats meilleurs. Ces résultats meilleurs il les calcule. Mais cette méthode est-elle encore aujourd'hui la plus naturelle? Elle nous offre une voie de calcul très commode; elle est admissible, mais en théorie, ce qu'elle nous donne ce n'est pas le soulèvement, c'est seulement une approximation du soulèvement moyen. Elle lie à une suite de valeurs la ligne droite, le phénomène linéaire qui réduit à un minimum les carrés des écarts des valeurs annuelles. Si vraiment le soulèvement a été absolument linéaire, la méthode des moindres carrés sera naturellement adéquate, mais si le soulèvement a varié en vitesse, la ligne droite donnera une valeur ou trop grande, ou trop petite dépendant de la forme de la courbe. Et encore, en appliquant une méthode de calcul comme celle des moindres carrés on limite aisément la pensée par l'emploi d'une formule qui suppose le phénomène en question linéaire. Par sa dérivation même cette méthode caractérise comme erreurs accidentelles les écarts restants. Il peut donc facilement arriver que soumis à une méthode pareille le phénomène semble linéaire et que tous les écarts apparaissent comme des erreurs accidentelles.

Mais le soulèvement durant une période, c'est le montant du soulèvement réel. N'étant pas encore à même de déterminer la hauteur relative de deux stations pour des espaces de temps très courts, nous sommes en attendant obligés de nous en tenir à des périodes plus longues et à déterminer le soulèvement qui s'est produit entre celles-ci. C'est ce que j'ai fait en déduisant mes valeurs T et autres, et motivé dans mon mémoire p. 230.

Ce n'est pas non plus possible de donner une seule valeur, la meilleure, à un point déterminé, comme le désire M. Rune. L'élévation varie et elle est une fonction du temps tout autant qu'une fonction de l'espace. Il faudra donc ajouter à chaque chiffre de l'élévation l'indication de la période à laquelle elle se rapporte. Mes chiffres pour Draghällan de trois ans en trois ans 1,08, 1,76, 0,56 et 0,53 cm donnent davantage que ceux que j'ai maintenant déduits 1,53 et 0,50

pour les moitiés de la période et 1,00 pour la période entière. Ici la méthode de calcul est indifférente pourvu qu'elle soit la même pour tous les points en question — et les valeurs annuelles de la hauteur des côtes nous renseignent encore mieux, bien que leurs erreurs soient plus grandes que les chiffres donnés précédemment.

16. Les fluctuations de longue durée du soulèvement. En revenant ici au problème du soulèvement après m'être occupé plusieurs années d'autres questions, j'ai fait un calcul provisoire. Quoiqu'il n'éclaircisse pas la question mieux que mes recherches antérieures, j'en présenterai cependant les résultats pour compléter celles-ci.

Dans nos anciennes données de niveau, j'ai choisi des observations des années 1867—1912 pour Rönnskär, Lypertö, Jungfrusund et Hangö, pour les trois derniers points celles aussi de 1858—1866, et je les ai comparées avec les observations faites à Swinemünde et à Kronstadt pour la même période¹. Pour point de départ j'ai choisi Swinemünde et à la différence de niveau j'ai ajouté une correction anémobarique provisoire. Pour déduire celle-ci j'ai employé pour le champ de pression barométrique les chiffres de pression barométrique des lignes Uppsala—Pétersbourg et Uppsala—Berlin, celle-ci à peu près perpendiculaire à celle-là. De l'équation

$$\Delta V = k + ty + mB_1 + nB_2$$

où k , m et n sont des constantes et y exprime la différence d'élévation, t le temps et B la différence de pression barométrique j'ai éliminé, en supposant y à peu près constante durant 4 années, k et y par une double et successive soustraction, après quoi j'ai déduit m et n selon le procédé de Cauchy. Maintenant je corrige les niveaux par rapport à l'influence anémobarique. Afin de faciliter une orientation, je donne d'abord l'écart moyen de niveau pour une année, calculé selon la formule suivante. Vu notre connaissance imparfaite de la répartition de l'écart cette formule est aussi adéquate qu'une autre à illustrer la nature relative des écarts.

$$m^2 = \frac{\sum \Delta^2}{2n} - \frac{t^2}{2}$$

où Δ est la différence de deux données annuelles successives à une station et où t est une valeur supposée du soulèvement qui d'ailleurs ici a peu d'influence.

¹ Les données allemandes sont tirées des publications et comptes-rendus annuels de l'institut géodésique de Potsdam. Mes recherches antérieures sont faites pendant la guerre et ce ne fut que longtemps après la publication de mon travail que j'ai eu l'occasion de prendre connaissance du mémoire très intéressant de M. Kühnen de 1916. Les données de Kronstadt se trouvent dans le mémoire de M. Rudovits dans les publications de la direction générale hydrographique de St Petersburg 1917.

Écarts moyens des moyennes annuelles, cm.

	Swinemünde	Hangö	Jungfrusund	Lypertö	Rönnskär	Kronstadt
Valeurs directes	$\pm 3,8$	$\pm 5,2$	$\pm 5,0$	$\pm 5,2$	$\pm 5,5$	$\pm 5,8$
Différences de Swinemünde	—	$\pm 2,4$	$\pm 2,3$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$	$\pm 2,4$
Différences corrigées	—	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,2$	$\pm 2,2$	$\pm 2,3$

Nous voyons qu'en employant les différences du niveau de la mer, les variations moyennes indiquent une exactitude 4 fois plus grande que lorsqu'on emploie les données directes, et qu'après l'emploi de la correction anémobarique pour les données de Lypertö, Jungfrusund et Hangö nous trouvons des variations moyennes indiquant une exactitude 17 fois plus grande que celle des données directes. Par contre l'emploi de la correction anémobarique n'augmente pas beaucoup l'exactitude pour Rönnskär, ce qui dépend évidemment de ce que les données sur la pression de l'air se rapportent à une région trop méridionale. Kronstadt n'indique aucune amélioration.

Ayant pour plus de sûreté réuni en une seule les valeurs pour les 3 meilleurs points, Lypertö, Jungfrusund et Hangö, j'appelle le point ainsi déterminé «les environs d'Åbo» et j'obtiens les valeurs annuelles exprimées par la courbe III figure 1. Je calcule le soulèvement moyen des différences entre le niveau de la mer d'une année et celui d'une année après une décade et j'égalise les valeurs trouvées selon le schéma suivant (1 + 6 + 15 + 20 + 15 + 6 + 1): 64. En s'appuyant sur ce que je viens de dire des variations moyennes, on peut admettre que l'erreur moyenne des moyennes annuelles corrigées est inférieure à $\pm 1,2$ cm.

Ce chiffre dérivant du soulèvement variable et des erreurs dans les données de niveau apparaît dans les valeurs non-égalisées de la décade avec $\pm 0,17$ cm, dans les valeurs égalisées avec $\pm 0,08$ cm qui ainsi sont les limites supérieures des erreurs moyennes.

En examinant les hauteurs successives de la côte, nous remarquons un mouvement prononcé depuis 1858 et jusqu'en 1870. On pourrait pour ces années supposer que les variations observées dépendent de la nature des anciennes observations, mais la comparaison de mes données avec les observations de niveau pour la même période à Grönskär près de Stockholm, certainement l'une des meilleures stations dont se sert Forssman (K. Sv. Vet. Akad. Handl. Bd 13, n:o 11. Stockholm 1876), accuse une bonne concordance. Swinemünde est plus stable.

A partir de 1870 le soulèvement est plus régulier, peut-être un peu plus lent jusqu'en 1885 et de 1885—1891 quelque peu plus rapide. Les chiffres marquent pour 1891—1894 un abaissement de 5,8 cm avec une «erreur» moyenne tout au plus de $\pm 1,7$ cm. Suit une élévation avec des fluctuations ébauchées.

Fig. 1. La hauteur de la croûte terrestre, d'après des données du niveau de la mer provisoirement corrigées, mm. III = environs d'Åbo comparés avec Swinemünde. I = Travemünde comparé avec Swinemünde. Les lignes minces indiquent les écarts moyens.

En nous servant de la méthode des moindres carrés, nous obtenons pour le soulèvement

$$1867-1891 \quad + 0,57 \pm 0,038 \text{ cm}$$

$$1894-1912 \quad + 0,50 \pm 0,043 \text{ cm}$$

et pour

$$1867-1912 \quad + 0,45 \pm 0,016 \text{ cm}$$

Donc une différence de $0,121 \pm 0,041$ cm entre le premier chiffre et le dernier.

En calculant le soulèvement moyen, en nous basant sur les différences du niveau moyen pour les périodes 1867—1891 et 1894—1912, nous obtenons:

$$0,42 \pm 0,015 \text{ cm}$$

et des différences du niveau de deux années à l'intervalle de resp. 13 et 10 ans en moyen:

$$1867-1891 \quad 0,55 \pm 0,039 \text{ cm}$$

$$1894-1912 \quad 0,51 \pm 0,047 \text{ cm}$$

ainsi que la différence mentionnée de $+ 0,136 \pm 0,042$ cm.

La différence entre ces résultats dépend de la méthode de calcul différente répondant à une notion différente du phénomène. Mais par suite de cette différence de notion, les valeurs des erreurs moyennes obtenues par ces deux voies ne sont pas comparables entre elles; il est donc impossible d'affirmer en se basant sur celles-ci que les premiers résultats soient les meilleurs.

Les valeurs directes du soulèvement de chaque décade aussi bien que les valeurs égalisées (figure 2) indiquent un soulèvement plus rapide au point que nous appelons «les environs d'Åbo» vers les années 1870, 1885 et 1900, un soulèvement lent durant la décade 1888—1897 et pour les années après 1873.

En me servant des différences de la pression atmosphérique Lund—Hambourg et Berlin—Hambourg pour les années 1876—1912, j'ai calculé de la même manière provisoire l'influence anémobarique pour Travemünde comparé à Swinemünde et l'ai éliminé des chiffres. L'écart moyen d'une moyenne annuelle calculée comme ci-dessus s'élève à $\pm 1,2$ cm, (d'après les chiffres non corrigés il serait $\pm 1,6$ cm). Du calcul cité plus bas il ressort selon la méthode des moindres carrés presque le même écart ou $\pm 1,1$ cm pour une moyenne annuelle corrigée du soulèvement continu durant la période 1879—1895. On trouve ces valeurs corrigées de la hauteur relative dans la figure 1, courbe I.

Des valeurs du soulèvement égalisées de la même manière que ci-dessus et

Fig. 2. La marche de la vitesse du soulèvement calculé avec les moyennes annuelles pour l'année $x-5$ et l'année $x+5$ et égalisées selon $\frac{1+6+15+20+15+6 \times 1}{64}$. Unité mm per décade. II. Travemünde comparé avec Swinemünde. IV. Les environs d'Åbo comparés avec Swinemünde. Les lignes minces indiquent les écarts moyens.

se rapportant à deux années, à dix ans d'intervalle, sont données dans la figure 2, courbe II.

En comparant les figures, nous apercevons un grand abaissement à Travemünde par rapport à Swinemünde (ou un exhaussement de Swinemünde) en 1879—1895, selon la méthode des moindres carrés — $0,64 \pm 0,05$ cm, puis une marche plus lente présentant cependant des variations.

Toutes ces valeurs sont provisoires; un examen ultérieur plus détaillé les modifiera; toutefois elles indiquent l'existence de fluctuations d'assez longue durée.

17. Le soulèvement séculaire récent. L'existence de fluctuations dans le soulèvement engage à la prudence quand il s'agit de déterminer le soulèvement par siècle en se basant sur les résultats d'une courte période. Le matériel suffisamment riche d'observations satisfaisantes sur le niveau ne s'étend que jusqu'à la fin du siècle passé. C'est pourquoi avant de me prononcer sur le caractère du phénomène à travers les siècles, j'ai dans mon mémoire comparé mes résultats à des valeurs qu'on peut obtenir de différentes manières pour des périodes anciennes. Et tout ce que j'avance à ce sujet se rapporte au caractère général et à la nature même du phénomène.

Pour arriver à déterminer ce qu'on pourrait véritablement nommer le soulèvement séculaire récent, il n'y a pas d'autre moyen que de se rapporter aux indications d'il y a à peu près un siècle que fournissent les anciennes marques de niveau de la mer ainsi que d'anciennes cartes. Je passerai en revue quelques marques de niveau datant de 1800 et d'autres plus anciennes encore parmi lesquelles les marques finlandaises furent mesurées en 1919 et 1920 par mon ami et collègue M. Renqvist et par moi-même et en renvoyant aussi aux valeurs de Hellström, déjà citées dans mon mémoire, pour les environs de Gamla-Karleby et à celles de Bygdén pour les environs de Piteå. M. Renqvist s'occupe pour le moment de recherches semblables en détails et sur une plus vaste échelle pour les contrées au sud d'Åbo.

Quant aux anciennes marques du niveau de la mer, nous pouvons supposer qu'elles ont été en général gravées en un espace d'une hauteur de 10 cm au-dessus et de 10 cm au-dessous du niveau moyen de la mer, qu'au commencement de l'été elles ont été gravées un peu trop bas, en automne un peu trop haut. Une erreur moyenne dans l'emplacement des marques de ± 5 cm doit suffire, une plus petite même pour la valeur du soulèvement par siècle, les marques étant antérieures à un siècle. Le niveau d'eau de nos jours étant à peu près exactement fixé par les observations, l'accroissement d'erreurs qui en dérive est négligeable. J'arrondis donc tous les résultats au plus proche multiple de 5 cm.

Le soulèvement séculaire récent:

La côte suédoise:

1. Skallö, 56°41'N, 16°23'E	+ 15 cm
2. Landsort, 58°45'N, 17°51'E	+ (40) à 45 cm
3. Lövgrund, 60°45'N, 17°27'E	+ 75 cm
4. Ledskär, 64°0'N, 20°54'E	+ 95 cm
5. Rataskär, 64°0'N, 20°54'E	+ 95 cm
6. Storrebben, 65°11'N, 21°57'E	+ 100 cm

La côte finlandaise:

7. Gamla Karleby, 63°50'N, 23°8'E	+ 95 cm
8. Wattungen, 63°4'N, 20°48'E	+ 95 cm
9. Bergö, 62°57'N, 21°11'E	+ 100 cm
10. Åbo, 60°26'N, 22°14'E	+ 50 (à 55) cm
11. Utö, 59°47'N, 21°22'E	+ 35 cm
12. Hangö, 59°48'N, 22°55'E	+ 40 cm
13. Jusrö, 59°50'N, 23°34'E	+ 45 cm
14. Sveaborg, 60°8'N, 25°0'E	+ 40 cm
15. Löparö, 60°14'N, 25°27'E	+ 20 cm
16. Lovisa, 60°26'N, 26°15'E	+ 20 cm

Les bords:

17. Kronstadt 60°0'N, 29°56'E	— ?x cm
18. Swinemünde, 53°55'N, 14°16'E	+ 0 à 5 cm

Remarques à la table:

1. La marque de *Skallö* est selon le nivellement suédois (P. G. Rosén: Sveriges precisionsafvägning 1886—1905, Stockholm 1906) située à 2,193 m au-dessus du «niveau suédois de la mer». La hauteur du niveau moyen est à Karlskrona + 8,2 cm pour 1898—1912, la hauteur de la marque de *Skallö* est donc à 2,111 m au-dessus du niveau de 1905.

Supposant juste, (selon Holmström K. Sv. Vet. Handl., Bd 22, n° 9, Stockholm 1888) l'appréciation du niveau moyen (— 1,935 m) qu'ont faite Wijkström—Siljeström en se basant sur des observations d'échelle quotidienne durant 2 années (1754—56), l'élévation par siècle se monte à 12 cm. En nous basant sur l'appréciation de Frigeliu du niveau moyen (1797—1892: — 1,942 m), nous obtenons un exhaussement séculaire de 16 cm. En moyenne donc 14 cm.

2. *Landsort*. Le nivellement suédois attribue à la marque occidentale et à la marque orientale de Schultén, toutes les deux datant de 1800, les valeurs respectives de 41,4 et 40,3 cm au-dessus du niveau suédois. Celui-ci est de 4,3 cm plus haut que le niveau moyen de *Landsort* 1898—1912. La première donne donc 44, la seconde 42 cm de soulèvement séculaire.

3. *Lövgrund*. Je cite les valeurs de Holmström pour 1731—1869.

4. *Ledskär*. La marque du milieu de Chydenius pour 1749 est située à 1,521 m au-dessus du «niveau suédois de la mer», celui-ci à 11,0 cm au-dessus du niveau moyen de Ratan pour 1898—1912. Le soulèvement jusqu'à 1905 est donc de 97 cm.

5. *Rataskär*. La marque de Hellant de 1774, selon la mensuration de Holmström le 18 août 1869, est de 28 cm au-dessous de la marque voisine de Chydenius. L'élévation séculaire est donc de 95 cm.

6. *Storrebben, Piteå*. Une moyenne arrondie des valeurs de Bygdén (1648 et 1750). Ymer 1910.
 7. *Gamla Karleby*. La valeur de Hellström (1649 et 1665).
 8. *Wattungen*. La mensuration de Renqvist et la mienne en 1920 donnaient pour la marque de Simon Mattsson de 1697, 242 cm et pour celle de Klingius en 1755, 157 cm, donc une élévation séculaire de 108 et de 95 cm. Celle-ci me semble plus probable.
 9. *Bergö*. Notre mensuration en 1920 donne pour la marque de Klingius en 1755, 165 cm, ou une élévation par siècle de 100 cm.
 10. Le château d'*Åbo*. Notre mensuration de 1919 a été comparée à de plus anciennes et examinée par M. Renqvist (Åbo Underrättelser en 1919 n:r 198) qui adopte le chiffre de 50 cm comme le plus probable.
 11. *Utö*. Notre mensuration de la marque de Schultén, du mois de juillet 1800, donne 37 cm par siècle.
 12. *Hangö*. Les marques de Ehrensward 1754 et de Schultén 1800 mesurées en 1919 et en 1920 donnent respectivement une élévation par siècle de 38 et 39 cm.
 13. *Jusarö*. La marque de Schultén de 1800 mesurée par nous en 1920 était à la hauteur de 54 cm, ainsi 45 cm par siècle.
 14. *Sveaborg*. Le nivellement de Renqvist en 1919 et sa notice (Nya Argus 1919, nr 15, Helsingfors) indiquent une élévation par siècle d'environ 40 cm.
 15. Les marmites à *Löparö* furent évaluées par C. F. Nordenskiöld en 1750, par nous en 1920. L'élévation par siècle est de 12—24 cm.
 16. *Lovisa*. La marque de Röngren de 1759 fut mesurée par nous en 1919 et en 1920. L'élévation par siècle est de 18 cm.
 17. *Kronstadt*. Le niveau d'eau de 1841—1913 indique plutôt un abaissement de 10 cm, mais l'emplacement de l'échelle n'est pas sûr.
 18. *Swinemünde*. Les niveaux d'eau des années après 1811 et dans les premières années de notre siècle indiquent une élévation faible.
- Nos comparaisons avec le niveau moyen actuel sont préliminaires; peut être que d'une étude renouvelée résultera une correction de quelques cm des valeurs du niveau actuel.

En comparant ces chiffres d'élévation par siècle, voir la figure 3, à ceux que j'ai trouvés pour 1898—1912, on peut constater dans les traits essentiels une concordance satisfaisante; ce n'est que pour l'intérieur du golfe de Finlande où, comme je l'ai relevé, les échelles sont peu sûres, que les valeurs par siècle sont en comparaison trop basses. Le caractère de la côte et la situation du château de Wiborg par exemple, m'obligeaient déjà alors à la réserve et en en parlant je relevais l'incertitude de ces valeurs. Si les observations de Kronstadt étaient aussi sûres qu'elles devraient l'être, on serait bien obligé de croire que cette partie des bords de la Fennoscandie est très agitée. A l'heure qu'il est je préfère laisser de côté la question de l'exactitude des données de Kronstadt. Le soulèvement que je trouve pour le Norrland en 1898—1912 ne correspond qu'à 95—100 cm dans les valeurs par siècle.

J'ai esquissé dans la figure 3 une description cartographique du soulèvement récent séculaire. A l'est d'Helsingfors, les isobases tournent vers le nord plus brusquement que je ne l'ai jamais vu pour l'élévation postglaciale. Près de Hangö et de l'archipel l'isobase de 40 cm semble décrire une ligne onduleuse. Autour de cette ligne sont situées toutes les marques de Schultén de 1800,

Fig. 3. Carte schématique provisoire du soulèvement récent séculaire tenant compte des marques côtières datant de l'année 1800 et des marques antérieures, cm par siècle.

celles de Landsort, Utö, Hangö, Jusarö et Sveaborg. Voici donc des valeurs en quelque mesure comparables. Les observations de niveau de Frigelius de 1797—1802 pour Skallö rendent cette station comparable à celles mentionnées plus haut. D'ailleurs on peut faire la remarque que cette carte ne repose pas sur des valeurs absolument comparables, mais en sa faveur on peut relever que les marques de Ehrensvärd en 1754 et de Schultén en 1800 à Hangö, don-

nent les mêmes résultats, tandis que les marques au Nord, mesurées à nouveau, donnent des valeurs un peu différentes, les unes plus hautes, les autres plus basses. L'important n'est toutefois pas ici le chiffre exact; c'est le caractère même du phénomène qu'il s'agit de faire ressortir, sa répartition autour d'un centre de soulèvement et la constance dans les grands traits du soulèvement, malgré les fluctuations rapides ou lentes.

18. La détermination des problèmes principaux et mesures à prendre.

En me basant sur ce qui précède, je veux ici préciser quelques points où les recherches futures devront attaquer ce problème pour atteindre à une compréhension plus profonde du phénomène qui a si puissamment contribué à former le paysage du Nord. Il faudra surtout rechercher:

- 1) le caractère général du phénomène, sa répartition géographique et l'intensité du soulèvement séculaire;
- 2) les variations de quelque durée, leur grandeur et caractère;
- 3) l'étendue régionale de ces variations, l'existence possible de mouvements progressifs et les variations éventuelles de la position du centre et des régions sans mouvement;
- 4) les fluctuations rapides, leur fréquence et grandeur;
- 5) la délimitation de régions de caractère analogue, la détermination de ce caractère;
- 6) les rapports qu'ont ces régions entre elles, les rapports réciproques du soulèvement et des troubles sismiques ou d'autres phénomènes parallèles et causes possibles;
- 7) les rapports avec les mouvements de la croûte terrestre en dehors de la Fennoscandie.

Quand nous voudrons à l'avenir étudier le soulèvement plus en détail, de nouveaux problèmes se poseront sans doute, problèmes que nous pouvons peut-être déjà entrevoir en partie. Pour les résoudre il nous faudra des observations plus précises et avant tout un plan suivi de recherches. C'est avant tout le besoin de bonnes observations sur le niveau de la mer qui s'impose, de tracés de maréographes dont les points de zéro sont l'objet d'un contrôle effectif.

Les meilleurs matériaux à ma disposition pour mon mémoire ont été les observations allemandes et suédoises. Les données finlandaises de premier ordre sont encore très restreintes, mais notre système d'observations est en progrès. Pour que l'étude du soulèvement gagne en exactitude et pour qu'elle réussisse à délimiter régionalement les fluctuations, un réseau d'observations plus serré est nécessaire, disons par exemple une distance d'au plus 100 km entre les stations. Pour la côte orientale de la Baltique, les enregistrements manquent presque complètement.

Plus d'exactitude s'impose aussi à d'autres égards, avant tout à l'égard de la

pression barométrique. Mais aussi l'afflux d'eau douce, la quantité d'eau tombée et l'évaporation de la surface de la mer sont difficiles à évaluer.

Tout comme l'étude du soulèvement profitera sans doute des progrès généraux de la thalassologie, celle-ci aura besoin à son tour pour une conception plus nette de quelques-unes des questions principales, les problèmes de mouvement par exemple, de données exactes sur le niveau de la mer, données exemptes des erreurs causées par les mouvements de la croûte terrestre. Une étude détaillée de ces mouvements contribuera à la compréhension générale des processus géotectoniques et sismiques passés et présents et réciproquement les résultats de la géologie seront utiles à cette étude.

Si toutefois on désire étendre à l'intérieur l'étude du soulèvement récent des côtes de la Fennoscandie, il faudra s'engager dans une toute autre voie; le nivellement de précision sera ici de rigueur.

Je crois que les grands réseaux de nivellement existants peuvent être regardés comme très satisfaisants pour l'application pratique, surtout si l'on exécute à nouveau la compensation en se basant sur le nivellement thalassologique. Un nouveau nivellement pour ces pays deviendrait très coûteux, surtout si l'on cherchait à atteindre la plus haute exactitude pour tout le réseau. Je crois qu'au point de vue scientifique aussi bien qu'au point de vue pratique il vaudrait mieux se restreindre à des nivellements pour les lignes principales et chercher à y atteindre la plus grande exactitude accessible et puis traiter les chiffres existants à fond par toutes les voies possibles.

J'ai dans mon mémoire esquissé un plan pour de pareils nivellements de haute précision répétés de temps en temps, par exemple tous les 15—20 ans le long de lignes déterminées. Je propose pour la Suède et la Norvège quelques lignes à choisir: Luleå—Narvik, Draghällan—Trondhjem ou Västervik—Varberg avec des maréographes aux points extrêmes; pour la Finlande Wasa—Helsingfors ou Kemi—Wasa et Wiborg—Helsingfors; pour le Danemark Fredericia—Esbjerg; pour l'Allemagne Travemünde—Cuxhaven ou Bremerhaven, tous ces nivellements exécutés simultanément et en tenant compte les uns des autres.

La nature elle-même impose aux peuples du Nord cette étude. La conception du soulèvement a longtemps influencé l'image que s'est formée la science humaine de notre terre et de son évolution. Et on peut avec certitude prédire qu'une conception plus profonde de ce grandiose phénomène jettera une lumière inattendue et féconde sur de nombreux problèmes. Je le répète, c'est pour nous un point d'honneur que de poursuivre les recherches de générations antérieures sur ce phénomène. Si jamais une collaboration imprégnée d'un esprit vraiment scientifique doit donner de riches fruits, c'est bien certainement dans ce domaine.

Helsingfors, novembre 1922.