

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS
INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE

INDICES K_n , K_s et K_m
1964-1967

par

Pierre-Noël MAYAUD

Maître de recherches au C. N. R. S.

texte français-anglais

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole-France — PARIS VII^e

1968

INTRODUCTION

Les indices d'activité magnétique présentés dans ce bulletin représentent la première application de la résolution n° 13 adoptée à l'Assemblée de St Gall : "L'A.I.G.A., considérant la proposition du Groupe de Travail des Indices Magnétiques de la Commission IV relative à une caractérisation de l'activité magnétique dans chaque hémisphère et à l'échelle mondiale par de nouveaux indices K_n , K_s et K_m , recommande que la détermination de ces nouveaux indices soit entreprise à titre d'essai avec des données débutant au 1er janvier 1964".

Nous avons montré antérieurement⁽¹⁾, à partir d'un calcul préliminaire fait pour les années 1959, 1961 et 1964, l'intérêt de ces nouveaux indices. Ici, nous décrivons la méthode utilisée dans ce calcul définitif et la signification de tels indices ; le schéma du calcul (fig. 1) et les tableaux de toutes les constantes utilisées sont regroupés au début. Les détails de la justification de certains éléments du calcul sont exposés dans une série d'annexes. Enfin des tableaux mensuels donnent les valeurs des indices pour les années 1964 à 1967 ; ils sont précédés de quelques commentaires sur les diverses manières dont ces indices seront mis à la disposition de la Communauté Scientifique.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie tout spécialement :

- Les Observateurs et Directeurs des stations magnétiques qui ont accepté de participer à la détermination de ces nouveaux indices planétaires,
- Le Centre Mondial de Washington et le Service Permanent des Indices Géomagnétiques, qui ont bien voulu communiquer les indices K utilisés pour la période 1964-1967,
- Le Service des Satellites de l'Observatoire de Meudon où les travaux de calcul ont été effectués,
- Mr A. Lebeau, qui a accepté de relire le manuscrit de cet ouvrage et dont les remarques ont permis d'en améliorer la rédaction.

The set of magnetic activity indices contained in this booklet is the first application of Resolution n° 13 adopted by the St Gall Assembly : "The I. A. G. A. considering the proposal of the Working Group on Magnetic indices of Commission IV concerning the characterization of the magnetic activity in each hemisphere and on a world wide scale by the new indices K_n , K_s and K_m , recommends that the determination of these new indices be started on a trial basis with data beginning 1 January 1964".

The author has previously pointed out, from a preliminary computation made for the years 1959, 1961 and 1964, the interest of these new indices⁽¹⁾. He here describes the method used in the definitive computation of such indices and their significance. The schematic of the operations (fig. 1) and tables giving all the constants used are grouped together at the beginning. Certain details concerning the justification of some of the principles of the computation are set forth in a set of appendices. Lastly indices for 1964 - 1967 are given in monthly tables : they are preceded by some remarks on the various ways by which these indices will be put at the disposal of the Scientific Community.

ACKNOWLEDGMENTS

The author thanks especially :

- The Observers and the Directors of the magnetic stations who accepted to participate in the determination of these new world-wide indices,
- The World Center in Washington and the Permanent Service of Geomagnetic Indices, which kindly communicated the K indices used for the period 1964-1967,
- The Satellite Service of the Meudon Observatory where the calculations were carried out,
- Mr A. Lebeau, who kindly accepted to re-read the manuscrit of this work and whose remarks enabled the improvement of the final text.

(1) Annales de Géophysique (1967) 23, "Calcul préliminaire d'indices K_m , K_n et K_s ou a_m , a_n et a_s , mesures de l'activité magnétique à l'échelle mondiale et dans les hémisphères Nord et Sud" p. 585-617.

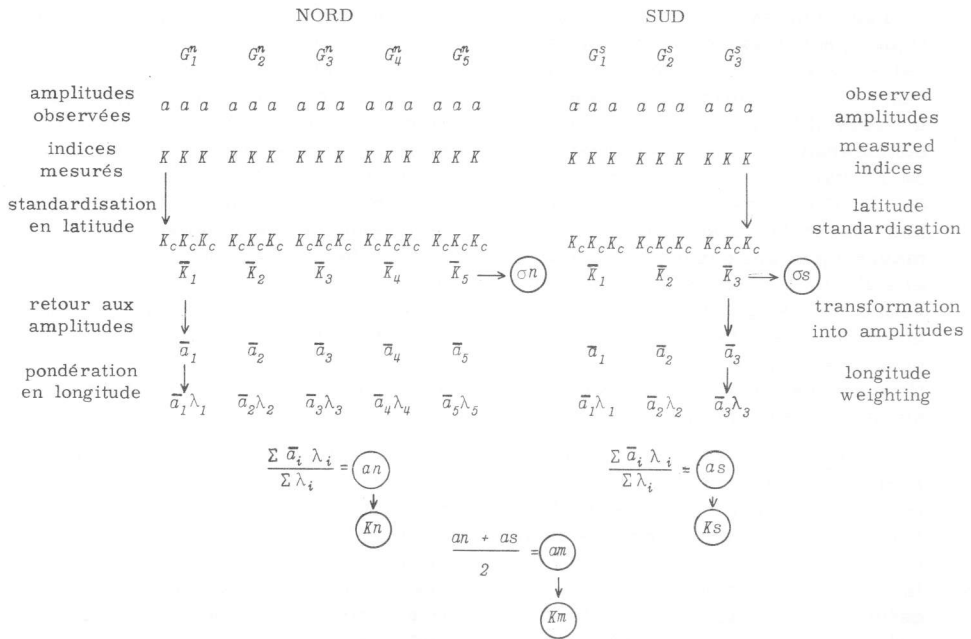


Figure 1

Schéma du calcul pour un intervalle trihoraire
Schematic of the computation for one three-hourly interval

Tableau 1

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Memambetsu (MT)	0,00	1,04	2,04	3,04	4,05	5,06	6,06	7,06	8,06	9,06
Petropavlosk (PK)	0,00	1,17	2,17	3,17	4,20	5,21	6,22	7,23	8,27	9,22
Magadan (MG)	0,00	0,85	1,85	2,85	3,82	4,80	5,80	6,80	7,76	8,80
Tomsk (TM)	0,00	0,53	1,53	2,53	3,39	4,34	5,30	6,27	7,15	8,25
Sverdlovsk (SV)	0,00	1,06	2,06	3,06	4,07	5,07	6,08	7,08	8,09	9,08
Niemegk (NI)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Witteveen (WI)	0,00	0,89	1,89	2,89	3,86	4,86	5,85	6,85	7,82	8,85
Hartland (HA)	0,00	0,92	1,92	2,92	3,90	4,89	5,89	6,88	7,86	8,89
Fredericksburg (FR)	0,00	0,97	1,97	2,97	3,96	4,96	5,96	6,96	7,95	8,96
Victoria (VI)	0,00	0,65	1,65	2,65	3,58	4,56	5,54	6,53	7,44	8,54
Tucson (TU)	0,00	0,88	1,88	2,88	3,86	4,85	5,84	6,84	7,81	8,84
Amberley (AM)	0,00	0,92	1,92	2,92	3,90	4,89	5,89	6,88	7,86	8,89
Toolangi (TO)	0,00	0,97	1,97	2,97	3,96	4,96	5,96	6,96	7,95	8,96
Gnangara (GN)	0,00	0,72	1,72	2,72	3,66	4,65	5,63	6,62	7,55	8,63
Kerguelen (KG)	0,00	0,98	1,98	2,98	3,97	4,87	5,97	6,97	7,97	8,97
Hermanus (HR)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Argentine (AR)	0,00	1,03	2,03	3,03	4,04	5,04	6,04	7,04	8,05	9,04
Orcadas (OR)	0,00	0,96	1,96	2,96	3,96	4,95	5,95	6,95	7,94	8,95

Transformation des K en K_c
Transformation of K into K_c

Tableau 2

\bar{k}	\bar{a}	\bar{k}	\bar{a}	\bar{k}	\bar{a}	\bar{k}	\bar{a}	\bar{k}	\bar{a}
0.0	0.00	2.0	15.00	4.0	55.00	6.0	160.00	8.0	415.00
0.1	0.67	2.1	16.00	4.1	58.00	6.1	168.00	8.1	432.00
0.2	1.33	2.2	17.00	4.2	61.00	6.2	176.00	8.2	449.00
0.3	2.00	2.3	18.00	4.3	64.00	6.3	184.00	8.3	466.00
0.4	2.67	2.4	19.00	4.4	67.00	6.4	192.00	8.4	483.00
0.5	3.33	2.5	20.00	4.5	70.00	6.5	200.00	8.5	500.00
0.6	4.00	2.6	22.00	4.6	75.00	6.6	213.00	8.6	533.00
0.7	4.67	2.7	24.00	4.7	80.00	6.7	226.00	8.7	567.00
0.8	5.33	2.8	26.00	4.8	85.00	6.8	239.00	8.8	600.00
0.9	6.00	2.9	28.00	4.9	90.00	6.9	252.00	8.9	633.00
1.0	6.67	3.0	30.00	5.0	95.00	7.0	265.00	9.0	667.00
1.1	7.33	3.1	32.00	5.1	100.00	7.1	278.00	9.1	700.00
1.2	8.00	3.2	34.00	5.2	105.00	7.2	291.00	9.2	733.00
1.3	8.67	3.3	36.00	5.3	110.00	7.3	304.00	9.3	767.00
1.4	9.33	3.4	38.00	5.4	115.00	7.4	317.00	9.4	800.00
1.5	10.00	3.5	40.00	5.5	120.00	7.5	330.00	9.5	833.00
1.6	11.00	3.6	43.00	5.6	128.00	7.6	347.00		
1.7	12.00	3.7	46.00	5.7	136.00	7.7	364.00		
1.8	13.00	3.8	49.00	5.8	144.00	7.8	381.00		
1.9	14.00	3.9	52.00	5.9	152.00	7.9	398.00		

Transformation des \bar{k} en \bar{a}
Transformation of \bar{k} into \bar{a}

Tableau 3

$\lambda_i / \Sigma \lambda_i$	G_1^n	G_2^n	G_3^n	G_4^n	G_5^n	G_1^s	G_2^s	G_3^s
	0.222	0.175	0.213	0.195	0.195	0.375	0.285	0.340

Coefficients de pondération en longitude
Coefficients of longitude weighting

Tableau 4

l_i (γ)	0 _o	0 ₊	1 ₋	1 _o	1 ₊	2 ₋	2 _o	2 ₊	3
l_i (γ)	1.4	3.4	5.4	7.4	10.4	13.4	16.4	20.4	26.4
l_i (γ)	3 _o	3 ₊	4 ₋	4 _o	4 ₊	5 ₋	5 _o	5 ₊	6 ₋
l_i (γ)	33.4	40.4	50.4	60.4	70.4	86.4	103.4	120.4	146.4
l_i (γ)	6 _o	6 ₊	7 ₋	7 _o	7 ₊	8 ₋	8 _o	8 ₊	9 ₋
l_i (γ)	173.4	200.4	243.4	286.4	330.4	386.4	443.4	500.4	611.4

Classes d'amplitudes des K_n, K_s, K_m
(la condition retenue est telle que $an \leq l_i$)

Amplitude classes of K_n, K_s, K_m
(the condition retained is such as $an \leq l_i$)

le .4 veut
simplement dire
que l'on passe
un entier
(les 2 sont
des entiers)

I - DESCRIPTION DES INDICES

I - NOTIONS DE BASE

Le but recherché est la caractérisation des variations dans le temps de l'intensité de l'activité magnétique terrestre. Les indices K sont choisis pour mesurer *l'intensité*, en un lieu donné, de l'activité ; nous rappellerons donc d'abord quelle est la signification de cette mesure. Puis nous exposerons les conditions dans lesquelles, à partir de mesures faites en divers lieux, une quantité représentative pour *l'ensemble* du globe peut être déterminée. Ainsi les limites de validité des résultats seront mieux appréciées.

1.1. Mesure de l'intensité de l'activité : l'indice K

L'indice K , tel qu'il a été défini par J. BARTELS, est l'une des mesures existantes de l'intensité de l'activité magnétique. Dans un ouvrage destiné à rendre plus homogènes les méthodes assez diverses utilisées par les observateurs pour faire cette mesure⁽¹⁾, nous avons tenté d'en préciser la signification. Résumons-en ici les points essentiels.

Pour quiconque est familier avec les variations observées sur les enregistrements magnétiques, celles-ci présentent un aspect extrêmement décevant lorsque l'on cherche, ainsi que le notait J. BARTELS, à élaborer *une mesure continue dans le temps* de ces variations, telle qu'elle corresponde à un *équilibre* raisonnable entre la *précision* requise et *l'économie* nécessaire. Analogues à un bruit, ces variations sont formées de fluctuations irrégulières quant à leur forme, leur durée et leur amplitude. Cependant la durée de ces fluctuations irrégulières varie beaucoup moins que leur amplitude en fonction du niveau de l'activité. Ce dernier paramètre semble donc être le plus significatif. Le principe de la mesure découle en grande partie de ce fait ; il consiste à choisir un intervalle de temps fixe (intervalle de trois heures), à l'intérieur duquel l'amplitude totale des fluctuations est déterminée.

La mesure de l'amplitude *totale*, à l'intérieur de l'intervalle de temps fixé, permet de faire abstraction du problème presque

(1) IAGA Bulletin n° 21 (1967), Atlas des Indices K , 1ère partie, ch. IV.

I - DESCRIPTION OF THE INDICES

1 - BASIC NOTIONS

The goal aimed at is to obtain a measure of the intensity of the worldwide magnetic activity. The indices K are chosen as a measure of the *intensity* of activity in a given place ; we recall first the meaning of this measure. Then we set forth the conditions in which, from measurements made in various places, a quantity significant for the *whole* of the Earth can be determined. Thus the limits of validity of the results will be better appreciated.

1.1. Measurement of the activity intensity : the K index

The K index, as defined by J. BARTELS, is one of the existing measurements of the intensity of activity. In a work intended for rendering more homogeneous the rather diverse methods used by the observers in making this measurement⁽¹⁾, we attempted to make clear its significance. Let us summarize the main points.

To anyone familiar with variations observed on magnetic records, these present an extremely disappointing aspect when one tries, as J. BARTELS noted, to elaborate a *continuous measure*, with time, of the variations ; moreover, the difficulty is to strike a *balance* between the required *precision* and the necessary *economy*. As with "noise", these variations are made up of fluctuations irregular in form, in duration and in amplitude. However, the duration of such irregular fluctuations varies much less than their amplitude as a function of the level of the activity. Consequently, the latter parameter seems to be the more significant. The principle of the measurement follows largely from this fact : it consists in choosing a constant time-interval (three-hourly interval), within which the total amplitude of the fluctuations is determined.

The measurement of the *total* amplitude, within the constant time-interval, permits one to disregard the almost inextricable pro-

(1) IAGA Bulletin n° 21 (1967), Atlas des Indices K , 1ère partie, ch. IV.

inextricable de la détermination d'un niveau-zéro sur les enregistrements. Le choix d'un *intervalle de trois heures* est un compromis valable par rapport au spectre de fréquences des durées des fluctuations. L'utilisation d'une *échelle semi-logarithmique* (transformation de l'amplitude a en gammas en un nombre pur, l'indice K) opère une analyse correcte des différentes gammes d'amplitudes et n'empêche aucunement de revenir aux amplitudes elles-mêmes ; de plus elle a l'avantage de simplifier et même, pratiquement, de rendre possible la mesure qui est assez complexe à cause de l'élimination que l'on doit faire de la variation journalière régulière S_p .

Finalement, cette mesure est une *estimation* quantitative de la variation dans le temps de l'intensité de l'activité magnétique, réellement significative de ce phénomène.

1. 2. Mesure pour l'ensemble du globe

Les variations, en fonction de la latitude ou avec les saisons (dans chaque hémisphère), de l'activité magnétique à la surface de la Terre sont si grandes que sa mesure planétaire ne peut être qu'approchée. Cependant les propriétés de l'activité magnétique dans les zones de *latitudes sub-aurorales* sont telles qu'on peut penser qu'un indice, déterminé à partir de ces zones, s'approche le plus d'une mesure caractérisant le *niveau général des perturbations à la surface de la Terre*.

Nous entendons par zone sub-aurorale la zone de latitude où l'intensité de l'activité magnétique, qui décroît d'abord très rapidement aux latitudes immédiatement inférieures à celle de la zone aurorale elle-même, ne varie plus que lentement avant de se stabiliser à un niveau presque constant entre les latitudes moyennes et les latitudes tropicales : elle présente les caractéristiques suivantes au point de vue du but ici recherché.

1/ Cette zone est sensible à la fois à l'activité d'origine proprement aurorale (qui est la plus grande sur la zone aurorale) et à l'activité d'origine proprement magnétosphérique (qui est la plus grande dans les régions tropicales).

2/ La variation d'intensité de l'activité, en fonction de la latitude, y est relativement lente ; la standardisation en latitude des indices K , essentielle pour que les indices soient significatifs à une échelle mondiale, y est possible ; elle ne le serait pas dans une zone de latitude trop étendue.

3/ Les perturbations sont beaucoup moins étendues en longitude, à un instant donné et pour un phénomène donné, aux latitudes aurorales qu'aux latitudes inférieures. La détermination d'un indice mondial à partir des premières supposerait donc un réseau d'observatoires relativement dense en fonction de la longitude. Par contre, aux latitudes sub-aurorales, un réseau de densité relativement faible est suffisant. Ceci est très important puisque, à cause des océans, il est impossible de disposer de données pour de grands intervalles de longitudes.

blem of the zero-level determination on the records. The choice of a *three-hourly interval* is a valuable compromise in relation to the frequency spectra of the durations of the fluctuations. The use of a *quasi-logarithmic scale* (transformation of the amplitude a into an integer, the K index) effects a sound analysis of the various amplitude ranges and in no way prevents recomputing again the amplitudes themselves ; moreover, it simplifies and even, in fact, makes possible the measurement, since the elimination of the regular daily variation S_p which must be made is thereby greatly facilitated.

Finally, this measurement is a quantitative *estimate* of the time variations of the intensity of the magnetic activity which truly describes the phenomenon in its complexity.

1.2. Measure for the whole of the Earth

Variations of the magnetic activity at the surface of the Earth , as a function of latitude or, in each hemisphere, with season, are so large that a worldwide measure of them can be only approximate. However the properties of the magnetic activity in the *sub-auroral latitude zones* are such that an index set up from these zones can be considered as approximating most closely to a measure whose aim is to characterize the *general level of perturbations at the surface of the Earth*.

By sub-auroral zone, we mean the latitude zone where the intensity of activity, which decreases very rapidly in latitudes immediately below that of the auroral zone itself, varies relatively slowly before settling at an almost constant level between middle and tropical latitudes. From the point of view of the goal aimed at here, the chief characteristics of the sub-auroral zone can be described thus.

1/ Such a zone is affected by activity whose origin is properly auroral (which is greatest in the auroral zone) and by activity whose origin is properly magnetospheric (which is greatest at tropical latitudes).

2/ Because the variation of the intensity of activity with latitude is relatively slow in this zone, the latitude standardization of K indices, which is essential for obtaining significant worldwide indices, is here possible ; it would not be so in a much wider latitude zone.

3/ At a given time and for a given phenomenon, the spread in longitude of the perturbations is much smaller at auroral latitudes than at sub-auroral latitudes. Therefore, the determination of a worldwide index from the former would imply a network of observatories rather dense as a function of longitude. At sub-auroral latitudes, a relatively open network is sufficient. This fact is very important since, because of the oceans, one cannot have data for wide intervals in longitude.

Une caractérisation de l'activité magnétique, basée sur des données expérimentales en provenance de la zone sub-aurorale, est donc susceptible de décrire de manière approchée l'état général de perturbation de la haute atmosphère sur la plus grande partie de la surface de la Terre. Les seules zones pour lesquelles une telle caractérisation présente moins de valeur sont celles situées à l'intérieur de chaque zone aurorale.

2 - CALCUL DES INDICES

A partir des mesures faites en un certain nombre d'observatoires, il s'agit de déterminer l'intensité moyenne de l'activité magnétique à la surface de la Terre durant chaque intervalle trihoraire.

Le schéma de la figure 1 synthétise les différentes opérations de ce calcul. Les données expérimentales de base sont les amplitudes trihoraires réelles a de l'activité en chaque observatoire (celles-ci sont rangées par groupes de trois observatoires dans le schéma ; la signification de ce groupement sera précisée au paragraphe 2.3). A travers une série de transformations que les paragraphes suivants décriront (la première d'entre elles étant la mesure de l'indice K faite aux observatoires), des amplitudes trihoraires a_n , a_s et a_m sont déterminées, à partir desquelles des indices K_n , K_s et K_m sont définis comme le sont les indices K à partir des amplitudes a . De plus, les quantités σ_n et σ_s permettent d'apprécier l'étendue en longitude des perturbations.

2.1. Indices pour chaque hémisphère et indice moyen

Afin d'apporter une information sur les différences qui peuvent exister entre les deux hémisphères, en particulier en fonction des saisons, mais aussi par suite des dissymétries dans la configuration du champ magnétique terrestre d'un hémisphère à l'autre, le calcul est d'abord conduit séparément pour l'hémisphère Nord et pour l'hémisphère Sud. On aboutit aux quantités a_n (ou K_n) pour l'hémisphère Nord et a_s (ou K_s) pour l'hémisphère Sud ; la quantité a_m , représentative de l'activité à l'échelle "mondiale", est déduite de la moyenne de a_n et a_s .

2.2. Standardisation en latitude

A un moment donné, l'intensité de l'activité peut varier dans des proportions considérables aussi bien en longitude qu'en latitude. Les causes de ces variations sont cependant profondément différentes et il en résulte que, seule, une standardisation en latitude est nécessaire.

Une perturbation peut se produire dans un secteur de longitude alors qu'aucune autre n'existe dans un autre secteur. De telles différences sont causées par la variation *dans le temps* de l'intensité

Therefore, a characterization of the magnetic activity, based on experimental data coming from the sub-auroral zone, can be considered as capable of describing, in an approximate manner, the general level of perturbations of the upper atmosphere on the largest part of the surface of the Earth. The only zones where such a characterization is less valuable are those situated inside each auroral zone (the polar caps).

2 - COMPUTATION OF INDICES

The question is to determine the mean intensity of the magnetic activity at the surface of the Earth during each three-hourly interval, on the basis of measurements made in a certain number of observatories.

The schematic of figure 1 synthesizes the successive operations of the computation. True three-hourly amplitudes a of the activity at each observatory are the basic experimental data (they are listed in groups of three observatories ; the meaning of this grouping will be explained in paragraph 2.3). Through a series of transformations described in the following paragraphs (the first of these transformations is the measurement of the K index made at the observatories themselves), three-hourly amplitudes a_n , a_s and a_m are determined ; indices K_n , K_s and K_m are derived from them, in the same way as indices K from amplitudes a . Moreover, the quantities σ_n and σ_s permit one to estimate the spread in longitude of the perturbations.

2.1. Indices for each hemisphere and mean index

With a view to providing information about the differences which may exist between both hemispheres, either as a function of season or because of asymmetries in the configuration of the main magnetic field from one hemisphere to the other, the computation is made first for each hemisphere separately. Quantities a_n (or K_n) for the Northern hemisphere and a_s (or K_s) for the Southern hemisphere are thus obtained ; then a_m , the quantity measuring the activity on a worldwide ("mondiale") scale, is deduced as the mean of a_n and a_s .

2.2. Standardization in latitude

At a given time, the intensity of the activity may have considerable variations with longitude as well as with latitude. However the causes of such variations are deeply different and the consequence is that only the latitude standardization is necessary.

A perturbation may occur in a longitude sector while there is no perturbation in another sector. Such differences are caused by the variation *with time* of the intensity of the solar activity ;

de l'activité solaire ; en effet, tel ou tel secteur de longitude est soumis ou non à la perturbation engendrée par l'agent solaire selon son orientation par rapport au Soleil. Un indice planétaire qui reposerait sur un réseau d'observatoires dont la distribution en longitude serait très incomplète ne serait donc pas sensible à certaines perturbations qui se seraient produites à un moment donné. Par contre si le réseau a une distribution à peu près uniforme, l'indice planétaire sera sensible à toutes les perturbations causées par l'agent solaire, et son niveau sera d'autant plus élevé que la (ou les) perturbation intéresse un (ou des) secteur de longitude plus étendu.

La variation en latitude des perturbations est d'un type entièrement différent. Quand une perturbation existe dans un secteur de longitude, il s'agit en général d'un seul et même phénomène dans une bande de latitude étendue. Dans le cas d'une perturbation magnétosphérique, la variation d'intensité est en gros proportionnelle au cosinus de la latitude sur les composantes horizontales⁽¹⁾, depuis l'équateur jusqu'au pôle. Dans le cas d'une perturbation aurorale, l'intensité décroît systématiquement depuis les latitudes aurorales jusqu'aux latitudes tropicales dans un rapport d'environ 10 à 1 ; ceci a deux causes : d'une part, le secteur de longitude intéressé devient rapidement plus étendu aux latitudes inférieures à la zone aurorale ; d'autre part, le foyer du système de courants ionosphériques causé par la perturbation est fortement excentré vers les latitudes supérieures. Or, seule, l'intensité globale du phénomène est significative au point de vue d'une mesure planétaire. Autrement dit, une standardisation en latitude est nécessaire si des observatoires de latitude différente sont utilisés.

L'un des principaux intérêts de l'indice K , tel qu'il a été défini par J. BARTELS, est d'effectuer cette standardisation en latitude par le jeu d'échelles de mesure qui sont fonction de la latitude. Cependant, lorsque, il y a 25 ans environ, ces échelles ont été choisies en la plupart des observatoires (c'est-à-dire lorsqu'on a fixé la valeur en gammas de la limite inférieure pour $K = 9$), les latitudes respectives de ceux-ci ont été déterminées dans le système des coordonnées du dipôle, qui était alors universellement utilisé mais dont on sait maintenant qu'il est insuffisant pour ordonner les phénomènes relevant de l'activité magnétique d'origine aurorale.

Il apparaît donc nécessaire de choisir d'abord un système de coordonnées apte à ordonner les phénomènes en fonction de la latitude. Puis il convient de déterminer ce que doit être la variation, en latitude, de l'échelle de mesure des indices K pour que ceux provenant d'observatoires de latitudes diverses soient aussi comparables que possible (ou encore soient réellement "standardisés" en latitude). L'étude de ces deux points fondamentaux fait l'objet de l'annexe A. Il y est montré d'une part que le paramètre de latitude qui semble le plus convenable est la *distance entre l'observatoire*

 (1) Rappelons que les indices K qui sont utilisés pour les indices planétaires ici présentés sont mesurés à partir des seules composantes horizontales depuis 1964 (Résolution n° 4 de l'Assemblée de l'A. I. G. A. à BERKELEY).

indeed, one longitude sector is affected (or not) by a perturbation brought about by the solar agent according to its orientation in relation to the Sun. Consequently, a worldwide index determined from an observatory network whose longitude distribution is insufficient would not be sensitive to certain perturbations occurring at a given time. Conversely, if the distribution of observatories is approximately uniform, the worldwide index will be sensitive to all perturbations brought about by the solar agent, and its level will thus be more and more raised when the perturbation (or the perturbations) affects one wider longitude sector (or several sectors).

The latitude variation of the perturbations is entirely different in type. When a perturbation occurs in a longitude sector, a latitude band, more or less wide, is invaded by one and the same phenomenon. In case of a magnetospheric perturbation, the variation of intensity in the horizontal components⁽¹⁾ is proportional roughly to the cosine of the latitude from the equator up to the pole. In case of an auroral perturbation, the intensity systematically decreases from the auroral latitudes down to the tropical latitudes with a ratio of about ten to one. There are two reasons for this. On the one hand the longitude sector affected becomes rapidly more extended at latitudes lower than the auroral zone ; on the other hand, the focus of the ionospheric current-system brought about by the perturbation is strongly shifted toward the higher latitudes. Now, only the global intensity of the phenomenon is significant for a worldwide measurement. In other words, a latitude standardization is necessary if observatories from various latitudes are used.

One of the main interests of the K index, as J. BARTELS defined it, is to achieve this latitude standardization by means of measurement scales which depend on latitude. However, when about 25 years ago, these scales (that is to say, the value in gammas of the lower limit for $K = 9$) were chosen in most observatories, latitude was determined by means of the dipole coordinate system, the one in general use at that time. However we now know that such a coordinate system is inadequate for coordinating the auroral phenomena and their effects.

Thus a magnetic coordinate system capable of coordinating the phenomena must first be chosen. Secondly the latitude variation of the measurement scales of K indices has to be determined so that K indices measured at various latitudes be as comparable as possible or truly "standardized" with latitude. The study of these two basic points is the subject of appendix A. Firstly, we point out that the latitude parameter which seems the most appropriate is *the dis-*

(1) Let us recall that since 1964, the K indices which are used for the worldwide indices presented here are measured from the horizontal components only (cf. Resolution 4 of the IAGG Assembly at BERKELEY).

et la zone aurorale ; la position moyenne de la zone aurorale est déterminée, à partir de la configuration du champ réel, comme correspondant à une latitude de 69° dans le champ du dipôle. D'autre part, une longue série de mesures d'indices K , en une chaîne d'observatoires de même longitude et de latitudes comprises entre la zone aurorale et les latitudes tropicales, est utilisée pour déterminer la variation en latitude de l'intensité de l'activité magnétique ; alors une *variation standard*, en fonction de la latitude, de la *limite inférieure pour $K = 9$* de l'échelle de mesure des indices en est déduite. Les échelles de mesures utilisées par les observatoires sont comparées à ce standard et la modification de celles-ci qui en résulte conduit à appliquer une correction systématique aux indices K mesurés (passage des K aux K_0 de la figure 1 et du tableau 1). Le mode selon lequel cette correction est faite est décrit dans l'annexe B.

Cette première étape du calcul des indices permet d'espérer que les quantités utilisées dans la suite sont ainsi rendues réellement comparables entre elles et que, au terme, les intensités moyennes de l'activité dans chaque hémisphère seront rattachées à la même unité.

2.3. Choix des observatoires

Le réseau d'observatoires choisis devait satisfaire à deux conditions :

- 1/ appartenir à la zone de latitudes sub-aurorales,
- 2/ former un réseau dont la distribution est uniforme en longitude.

La première condition résulte de ce qui a été énoncé au paragraphe 1.2 à propos des caractéristiques de la zone sub-aurorale.

La seconde condition résulte des remarques faites dans le paragraphe précédent 2.2., relatives à la variation en longitude de l'activité magnétique. L'utilisation d'un réseau dont la distribution ne serait pas uniforme en longitude ferait apparaître une variation en temps universel des indices planétaires, qui serait uniquement la conséquence de cette distribution. Le premier schéma de calcul d'un indice planétaire, décrit par J. BARTELS⁽¹⁾, notait ce fait et, de plus, précisait que l'intérêt de partir d'une distribution uniforme était la possibilité éventuelle de détecter l'existence d'une composante réelle en temps universel de l'activité magnétique. Pratiquement, lorsque J. BARTELS choisit le réseau d'observatoires devant servir au calcul de l'indice Kp , les données dont il pouvait disposer lui imposèrent le choix d'un réseau dont la distribution en longitude n'était en aucune manière uniforme (la moitié des observatoires utilisés sont situés en Europe). C'est la raison pour la-

(1) Journ. Ter. Mag. and Elect., 45 (1940), "Geomagnetic three hour range indices for the years 1938 and 1939", p. 335.

tance from the observatory to the auroral zone ; the mean position of the auroral zone itself is determined, from the configuration of the main terrestrial magnetic field, as corresponding to latitude 69° in the dipole field. Secondly, a long series of K indices, measured in a chain of observatories whose longitude is approximately the same and whose latitude varies from the auroral zone down to tropical latitudes, is used for determining the latitude variation of the intensity of the magnetic activity, from which a *standard variation*, with latitude, of the *lower limit for $K = 9$* of the measurement scales is deduced. The measurement scales used by each observatory are compared to this standard variation, and, as a function of the existing differences, a systematic correction is applied to the K indices measured (transformation of K 's into K_c 's of figure 1 and of table 1). The way by which such a correction is made is described in in appendix B.

This first step of the computation permits one to hope that the quantities used subsequently are thus truly comparable between themselves and that, at the end of the computation, the mean intensities of the activity in each hemisphere will be linked up to the same unit.

2.3. Choice of the observatories

The network of the observatories chosen ought to satisfy both conditions :

- 1/ to belong to the zone of sub-auroral latitudes,
- 2/ to make up a network whose longitude distribution is uniform.

The first condition follows from the remarks made in paragraph 1.2 about the characteristics of the sub-auroral zone.

The second condition follows from the remarks made in paragraph 2.2 about the longitude variation of the magnetic activity. Using a network with non-uniform longitude distribution would bring about a universal time variation which would merely be a consequence of this distribution. When describing the first proposal for a world-wide index, J. BARTELS⁽¹⁾ noted this fact and, moreover, pointed out that one interest of using a uniform distribution was the possibility of detecting the existence of a true universal time component of the magnetic activity. In fact, when he chose the observatory network to be used for the computation of Kp , the data at his disposal compelled him to choose a network whose longitude distribution was in no way uniform (half of the observatories used are in Europe). So he was obliged to adopt another method (to eliminate

(1) Journ. Ter. Mag. and Elect., 45 (1940), "Geomagnetic three hour range indices for the years 1938 and 1939", p. 335.

quelle il dût s'orienter vers une autre solution (éliminer la variation journalière en temps local de chaque observatoire par l'usage de tables de conversion) et il notait avec regret que la nature du procédé conduisait à masquer systématiquement l'existence de toute composante "temps universel" de l'activité. Mais les mesures d'indices K sont actuellement faites par la grande majorité des observatoires et il est possible d'obtenir cette condition d'une distribution uniforme.

Par le fait des océans, il existe cependant, spécialement dans l'hémisphère Sud, de grands intervalles de longitude sans aucun observatoire. En conséquence, la solution suivante a été adoptée : constituer des groupes de deux à trois observatoires, de telle sorte que les longitudes moyennes de chaque groupe soient à peu près équidistantes les unes des autres.

L'utilisation de *plusieurs* observatoires, au lieu d'un seul, dans *chaque* secteur ainsi défini n'apporte sans doute *aucune* information supplémentaire. Elle a cependant deux avantages. La mesure des indices K étant difficile et parfois soumise à une certaine subjectivité, on peut espérer que les choix divers faits par les observatoires se compenseront les uns les autres dans chaque zone ; il en est de même pour la mesure des indices $K = 0, 1$ et 2 pour lesquels les cas-frontière sont fréquents. D'autre part, les discontinuités introduites par le changement de site de tel ou tel observatoire ou les incertitudes existant sur la présence de courants induits anormaux devraient prendre moins d'importance.

Cinq groupes d'observatoires pour l'hémisphère Nord, trois pour l'hémisphère Sud ont donc été formés (schéma de la figure 1) ; l'annexe C précise la constitution de chacun d'eux et expose dans quelle mesure on s'approche d'un réseau idéal.

2.4. Calcul du \bar{K} moyen de chaque groupe et des écarts type σ_n et σ_s

Nous avons vu que le groupement des observatoires par secteurs de longitude a pour but d'aboutir à une meilleure définition de l'intensité de l'activité dans *chacun* d'eux. On l'obtient (voir le schéma de la figure 1) en faisant, à l'intérieur de chaque groupe, la moyenne des K_c . Soit \bar{K} cette moyenne (calculée avec une décimale).

A ce stade, une information importante mérite d'être recherchée. En effet, si le but final du calcul est d'obtenir des indices tri-horaires a_n et a_s qui représentent le niveau moyen de l'activité dans chaque hémisphère, des valeurs équivalentes de ces indices peuvent correspondre en fait à des situations différentes dont les extrêmes peuvent être ainsi décrits : d'une part perturbations localisées dans un seul secteur de longitude, d'autre part perturbations d'intensité égale à toute longitude. Comme il ne peut être question de publier in extenso les \bar{K} tri-horaires de chaque groupe, un moyen aisé existe pour donner une information condensée à ce point de vue : le calcul de l'écart-type σ_n (ou σ_s) des \bar{K} moyens dans chaque hémisphère.

the daily variation, in local time, at each observatory by using conversion tables) and he noted to his sorrow that such a process led to a systematic blurring of any "universal time" component of the activity. The K measurements are nowadays made by so many observatories that it is much easier to fulfil the condition of an uniform distribution.

However, because of the oceans, and especially in the Southern hemisphere, there are wide intervals of longitude without any observatory. Consequently, the following solution was adopted : to make up groups of two to three observatories, so that the mean longitudes of each group be almost equidistant from each other.

Using *several* observatories, instead of a single, in *each* sector thus defined does not give any supplementary information but presents two advantages. The measurement of the K indices is sometimes difficult because of a certain inherent subjectivity ; in such cases, one can hope that the various choices made by the observers will balance each other in each group ; this remark is also true for the indices $K = 0, 1$ and 2 whose measurement is sometimes uncertain because of the border-cases. Secondly, the breaks caused by a move of site for such and such an observatory as well as any uncertainties about the presence of abnormal induced currents will be less important.

Five groups of observatories have been formed for the Northern hemisphere, and three for the Southern (see figure 1) ; appendix C specifies the composition of each of them and sets forth to what extent an ideal network is approximated.

2.4. Mean \bar{K} of each group and standard-deviations σ_n and σ_s

To reach a better definition of the intensity of the activity in *each* longitude sector is the aim of grouping the observatories by such sectors. Consequently, the mean of K_c 's is made inside each group (see figure 1). Let us call \bar{K} this mean (rounded to one decimal).

At this stage, an important item of information is worth searching after. Indeed, if three-hourly indices a_n and a_s characterizing the mean level of the activity in each hemisphere are the final aim of the computation, some equivalent values of these indices may correspond in fact to various cases whose extremes can be thus described : on the one hand, perturbations localized in a single longitude sector, on the other hand, perturbations of the same intensity in all sectors. The full publication of the three-hourly \bar{K} 's is out of the question ; but the standard deviation σ_n (or σ_s) of the \bar{K} 's in each hemisphere is capable of providing such information in a valuable way.

Afin de faciliter la publication de cette donnée par l'utilisation d'un seul chiffre significatif compris entre 0 et 9, les σn (ou σs) réels sont multipliés par un facteur qui a été choisi égal à 6 ; ils sont ensuite arrondis à l'unité. Le chiffre 9 correspond ainsi à une valeur maximum 1.58 de l'écart-type (soit $1.58 \times 6 = 9.48$) ; lorsque l'écart-type dépasse cette valeur, c'est encore le chiffre 9 qui est retenu. Selon les sondages préalables qui ont été faits, ceci devrait être extrêmement rare. L'annexe D donne quelques exemples, soit arbitraires, soit réels, du détail des \bar{K} moyens pour différentes valeurs de ces indices à un seul chiffre.

2.5. Transformation des \bar{K} en amplitudes \bar{a}

La caractérisation de l'intensité de l'activité dans *chaque* hémisphère résulte d'une moyenne des mesures de son intensité dans chaque secteur de longitude. L'intensité de l'activité est proportionnelle aux amplitudes ; une moyenne d'amplitudes semble donc plus satisfaisante que la moyenne de quantités telles que les indices \bar{K} moyens qui sont approximativement les logarithmes des amplitudes⁽¹⁾. Les indices \bar{K} sont donc transformés (voir schéma de la figure 1 et tableau 2) à l'aide d'une échelle, évidemment identique pour toutes les zones, en amplitudes \bar{a} . L'annexe E décrit le mode selon lequel cette échelle a été définie.

Précisons ici que cette échelle a une limite inférieure de 500 gammas pour $K = 9$. Par conséquent, selon la standardisation en latitude décrite dans l'annexe A, les amplitudes \bar{a} représentent approximativement les amplitudes réelles de l'activité en des observatoires fictifs situés, au centre de chaque secteur de longitude, à la latitude prise comme référence pour cette même limite inférieure lors de cette standardisation. Une telle limite inférieure est celle utilisée par les observatoires situés vers 50° de latitude magnétique.

2.6. Pondération en longitude des amplitudes \bar{a}

Comme les groupes d'observatoires n'ont pas une distribution en longitude parfaitement uniforme, il apparaît nécessaire d'introduire, avant d'effectuer la moyenne des amplitudes \bar{a} dans chaque hémisphère, une "pondération en longitude" de telle sorte qu'une distribution idéale soit approchée au mieux (voir figure 1 et tableau 3).

L'annexe F précise comment cette pondération a été faite et, en particulier, pourquoi un système de longitudes magnétiques a été choisi. De plus, quelques résultats obtenus antérieurement sont rappelés en vue de montrer l'influence que pourrait avoir une pondération insuffisante.

(1) La moyenne des K à l'intérieur de chaque secteur de longitude reste significative puisqu'un écart important entre les valeurs est très improbable.

In order to publish these data easily (that is to say, by only one digit), the true σn 's (or σs 's) are multiplied by a factor which has been chosen equal to 6 and then rounded to an integer. Thus a value 9 corresponds to a maximum value of 1.58 of the standard deviation (indeed, $1.58 \times 6 = 9.48$); when the value of the standard deviation exceeds the maximum value of 1.58, digit 9 is still kept. Some previous tests have shown that such cases must be very rare. Appendix D gives some examples (either arbitrary or true) of sets of \bar{K} 's for various values of this index with one digit.

2.5. Transformation of \bar{K} into amplitude \bar{a}

The characterization of the intensity of activity in *each* hemisphere results from an average of the measures of its intensity in each longitude sector. The intensity of the activity is proportional to the amplitudes; consequently the average of the amplitudes seems more suitable than the average of quantities such as the \bar{K} indices, which are approximately the logarithms of the amplitudes⁽¹⁾. The \bar{K} indices are then transformed (see figure 1 and table 2) into amplitudes \bar{a} by means of a scale, which clearly is identical for all longitude sectors. Appendix E describes the way by which such a scale has been defined.

Let us only say here that the scale has a lower limit of 500 gammas for $K = 9$. Therefore, according to the latitude standardization described in appendix A, amplitudes \bar{a} are approximately the true amplitudes of the activity in fictitious observatories located in the centre of each longitude sector, at the latitude taken as a reference for this lower limit when standardizing in latitude the K indices. Such a lower limit is that used by observatories located at a magnetic latitude of about 50° .

2.6. Weighting of amplitudes \bar{a} in longitude

Observatory groups have not an absolutely uniform longitude distribution; hence, before making the average of amplitudes \bar{a} in each hemisphere, it seems convenient to introduce a "longitude weighting" so that as ideal a distribution as possible be reached (see figure 1 and table 3).

Appendix F describes how such a weighting has been made and, particularly, why a magnetic longitude system has been chosen. Moreover, some results previously obtained are recalled in order to show the effect which an insufficient weighting could have.

(1) The average of K 's inside each longitude sector is still significant since a large dispersion between their values is very improbable.

2.7. Calcul de a_n , a_s et a_m

Le calcul des indices tri-horaires a_n , a_s et a_m (voir schéma de la figure 1) peut alors être effectué : moyenne pondérée des amplitudes \bar{a} dans chaque hémisphère, puis moyenne de a_n et a_s pour obtenir a_m . Pour la publication, la valeur obtenue est arrondie à l'unité (précisons que la gamme de variation de ces indices va de 0 à environ 600 gammas ; la moyenne, pour une longue série d'années, devrait se situer aux environs de 20 gammas).

2.8. Détermination de K_n , K_s et K_m

La détermination de ces quantités peut paraître superflue puisque les indices tri-horaires a_n , a_s et a_m correspondent à des amplitudes en gammas, finalement assez proches des données de base (les amplitudes a : voir schéma de la figure 1) dont on est parti.

Pendant une remarque analogue à celle faite au paragraphe 2.4 doit être faite, bien qu'elle concerne ici non plus des moyennes de quantités simultanées dans le temps et provenant de lieux différents, mais des moyennes de quantités provenant d'époques différentes. En effet, si on cherche par exemple à définir le niveau moyen de l'activité au cours d'une période d'un mois, des valeurs mensuelles identiques peuvent correspondre à des distributions dans le temps extrêmement différentes des perturbations : ou bien une activité moyenne continue, ou bien de grandes perturbations séparées par des intervalles très calmes. A ce point de vue, la détermination d'indices analogues au K_p (c'est-à-dire variant de tiers d'unité en tiers d'unité) peut être extrêmement utile ; en effet, dans l'alternative décrite précédemment, aux amplitudes moyennes mensuelles a_n , a_s ou a_m égales, correspondront des valeurs moyennes de K_n , K_s ou K_m nettement différentes. Un autre intérêt, d'ordre pratique, est sans doute de mieux assurer une certaine continuité entre ces nouveaux indices et l'indice K_p .

On sait que l'indice a_p est déduit de l'indice K_p à l'aide d'une relation bi-univoque entre ces deux quantités (cf. les introductions des Bulletins 12 du I A G A). Dans notre cas, la détermination des indices K_n , K_s et K_m est, en quelque sorte, tout à fait analogue à la détermination des indices K à partir des amplitudes a (voir schéma de la figure 1 et tableau 4). L'annexe G précise comment l'échelle utilisée a été établie. Elle donne également la relation biunivoque (analogue à celle existant entre K_p et a_p) qui pourrait être utilisée pour retransformer les K_n , K_s et K_m en amplitudes équivalentes ; sa comparaison à celle existant entre K_p et a_p conduit à quelques remarques sur les conditions d'une comparaison entre ces deux types d'indices.

2.7. Computation of a_n , a_s and a_m

All elements are now at hand for computing the three-hourly indices a_n , a_s and a_m (see figure 1) : the weighted average of amplitudes \bar{a} in each hemisphere (a_n and a_s), then the average of a_n and a_s for obtaining a_m . For publication, the values are rounded to an integer (the range of variation of these indices goes from 0 to about 600 gammas ; the mean, for a long series of years, would be of about 20 gammas).

2.8. Determination of K_n , K_s and K_m

To determine indices K_n , K_s and K_m may seem unnecessary since three-hourly indices a_n , a_s and a_m correspond to amplitudes in gammas, which are ultimately quite close to the basic experimental data (the amplitudes a : see figure 1) from which the computation has its starting point.

A remark analogous to that made in paragraph 2.4 can help to justify such a determination. However, it concerns, not averages of quantities simultaneous in time and coming from various places, but averages of quantities coming from various epochs. Indeed, if for instance, one tries to characterize the mean level of the activity during a monthly period, some identical monthly values may correspond to extremely varied distributions, with time, of perturbations : either a continuous moderate activity, or some severe perturbations with very quiet periods between them. From this point of view, the determination of indices analogous to K_p and varying, like it, in steps of a third of a unit, can be very useful. Thus, in the alternative described above, the monthly values of K_n , K_s and K_m will differ while the monthly a_n , a_s and a_m will be equal. Moreover, a further advantage of such indices is that they provide a better continuity between these new indices and the K_p index.

One knows that the ap index is obtained from the K_p index by means of an unequivocal relation between both these quantities (cf. introductions of I A G A Bulletins 12). Here, the determination of indices K_n , K_s and K_m is, in some way, quite analogous to the determination of indices K from the amplitudes a (see figure 1 and table 4). Appendix G specifies how the scale used has been established. It also gives an unequivocal relation (analogous to that existing between K_p and ap) which could be used for reconverting the K_n 's, K_s 's and K_m 's into equivalent amplitudes ; its comparison to the relation existing between K_p and ap leads one to some remarks about the conditions for a comparison between these two types of indices.

3 - SIGNIFICATION DES INDICES

La signification de ces nouveaux indices est évidemment en étroite dépendance de la signification de la quantité mesurée sur les enregistrements magnétiques eux-mêmes : des amplitudes tri-horaires en gammas ; nous avons essayé précédemment (cf. paragraphe 1.1) d'en rappeler les éléments essentiels. Si, alors, on admet d'une part le bien-fondé de cette méthode de mesures qu'est l'indice K , si d'autre part on considère que les diverses précautions prises lors de l'élaboration des indices an , as et am n'ont pas déformé de manière importante les données originales de base (amplitudes a du schéma de la figure 1), on peut dire que ces indices sont une estimation quantitative *globale* de la variation continue dans le temps de l'intensité de l'activité magnétique à la *surface de la Terre*.

En effet, d'une part, la distribution en *longitude* des observatoires utilisés dans chaque hémisphère semble être suffisante pour rendre correcte l'estimation du *niveau moyen* de l'activité dans la zone de latitudes sub-aurorales où se trouvent ceux-ci. D'autre part, nous avons indiqué, dans le paragraphe 1.2, les raisons pour lesquelles la zone de latitudes sub-aurorales permet d'approcher au mieux une mesure *planétaire*. Si la variation saisonnière de l'activité propre aux calottes polaires (l'intérieur de la zone aurorale) exclut en partie ces régions de la zone de signification de ces indices, nous pensons qu'ils apportent une information réellement significative pour *toutes les autres latitudes* (à part la restriction que nous précisons ci-dessous pour les latitudes aurorales proprement dites). Plus exactement, la zone sub-aurorale étant soumise à la fois aux effets d'origine proprement aurorale et à ceux d'origine proprement magnétosphérique, ces indices représentent une bonne estimation moyenne des effets globaux des agents solaires causant l'activité magnétique. Ils peuvent permettre aussi bien d'en suivre l'évolution dans le temps que servir de référence pour apprécier le niveau général des perturbations à la surface de la Terre (dans ce dernier cas, les indices σ_n et σ_s apportent une information précieuse sur l'étendue en longitude de ces perturbations).

La restriction relative aux latitudes aurorales serait la suivante : nous avons montré⁽¹⁾ que les effets de l'électrojet auroral Est-Ouest se faisaient beaucoup moins sentir aux latitudes inférieures que ceux de l'électrojet auroral Ouest-Est ; en conséquence, un indice tel que l'indice AE ⁽²⁾ est certainement plus apte à détecter

(1) Annales de Géophysique, 21 (1965) "Principes d'une discrimination entre Sq et SD sur les enregistrements individuels et description d'un type spécial de perturbations magnétiques, les oscillations lentes", p. 121-142 ; ou encore, Bulletin I A G A n° 21, Atlas des Indices K , p. 50-52.

(2) T. N. DAVIES et M. SUGIURA, "Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations", Journ. Geoph. Res., 71 (1966), 785-801.

3 - MEANING OF THE INDICES

The meaning of these new indices clearly depends strongly on the meaning of the quantity measured on the magnetic records themselves : the three-hourly amplitudes in gammas ; we tried above to recall the main elements of this signification. Then, if one agrees that the K measurement method is a suitable one, and if one considers that the various precautions taken when elaborating the indices a_n , a_s and a_m have not greatly deformed the original data (amplitudes a of figure 1), it is justified to assert that such indices are a *global* quantitative estimate of the continuous time-variation of the intensity of the magnetic activity at *the surface of the Earth*.

On the one hand, the *longitude* distribution of the observatories used seems to be sufficient to give a correct estimate of the *average level* of the activity in the sub-auroral latitude zone where these observatories are situated. On the other hand, in paragraph 1.2, we set forth reasons for which the sub-auroral latitude zone permits one to approximate as best as possible a *worldwide* measure. If the seasonal variation of the activity proper to the polar caps (the inside of the auroral zone) partly excludes these regions from the zone where such indices have a meaning, we think that they provide information truly meaningful for *all other latitudes* (however we shall make hereafter a restriction for the auroral zone itself). In other words, as the sub-auroral zone is subjected to effects both of auroral origin and of magnetospheric origin, such indices are a good mean estimate of the global effects of the solar agents producing the magnetic activity. They can be used both for monitoring the time variation of these effects and for being taken as a reference in order to estimate the general level of the perturbations at the surface of the Earth (in that case, indices σ_n and σ_s provide valuable information about the spread in longitude of these perturbations).

As for the auroral zone, the restriction would be the following. We have pointed out⁽¹⁾ that the effects of the westwards auroral electrojet were much less effective at lower latitudes than those of the eastwards auroral electrojet ; consequently, an index such as the AE index⁽²⁾ is more suitable for detecting the *existence* and the

(1) Annales de Géophysique, 21 (1965) "Principes d'une discrimination entre Sq et SD sur les enregistrements individuels et description d'un type spécial de perturbations magnétiques, les oscillations lentes", p. 121-142 ; ou encore, Bulletin I A G A n° 21, Atlas des indices K , p. 50-52.

(2) T.N. DAVIES et M. SUGIURA, "Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations", Journ. Geoph. Res., 71 (1966), 785-801.

l'existence et *l'intensité* des perturbations aux latitudes aurorales que les indices σn et σs . On notera cependant que sa définition (mesure de la distance entre les enveloppes supérieure et inférieure d'enregistrements d'observatoires de la zone aurorale, superposés en temps universel) implique qu'il mesure *l'intensité* de la perturbation sur la seule longitude où elle est la plus grande ; autrement dit, cet indice n'est pas une mesure du niveau moyen.

Un autre aspect de la signification physique de ces indices doit être explicité ; il concerne *l'existence* d'une composante "temps universel". Estimation quantitative *globale* de *l'intensité* de l'activité magnétique à la surface de la Terre, les indices ne décrivent donc en aucune manière la variation de cette intensité dans un secteur de longitude donné ; les indices σn et σs permettent cependant d'apprécier *l'étendue* en longitude des perturbations et les tableaux journaliers détaillés contenant les indices \bar{K} qui seront mis dans les Centres Mondiaux à la disposition de la communauté scientifique (voir figure 2, p. 51, et son commentaire p. 52) donneront des informations complémentaires sur la variation en longitude du phénomène. Cette variation en longitude de *l'intensité* de l'activité magnétique est due, rappelons-le, à ce que tel ou tel secteur de longitude est soumis ou non à la perturbation engendrée par l'agent solaire selon son orientation par rapport au Soleil ; en conséquence la probabilité qu'une perturbation se produise dans un secteur de longitude donné dépend du temps local de ce secteur, d'où *l'existence* d'une composante "temps local" de la variation journalière de l'activité. Parce que le réseau des observatoires utilisés a une distribution uniforme en longitude, les indices σn , σs et σm sont sensibles aux perturbations en quelque secteur qu'elles se produisent et devraient donc pouvoir être reliés directement à la variation dans le temps des agents solaires ; autrement dit, leur variation journalière en temps universel ne devrait présenter aucune composante "temps universel". Cependant, nous avons pu montrer dans un calcul préliminaire de tels indices⁽¹⁾ que leur variation journalière présentait en fait une composante "temps universel", d'amplitude importante et d'ailleurs différente dans chaque hémisphère. Son analyse a permis de la décomposer en une composante "temps universel", dite de McINTOSH, semblable dans les deux hémisphères et en deux pseudo-composantes "temps universel" ayant leurs caractéristiques propres dans chaque hémisphère. Il en résulte un fait évident, mais qui est celui-là même qui doit être souligné : ces indices, établis à partir de données exprimant l'activité magnétique, sont une mesure non pas des *agents solaires* qui causent l'activité, mais une mesure de *leurs effets magnétiques* dans la haute atmosphère tels qu'ils sont enregistrés à la surface de la Terre. Autrement dit, toute recherche de corrélation entre des mesures de ces agents solaires faites en satellite et ces indices *tri-horaires* devra

(1) Annales Geoph., 23 (1967), p. 603-612.

intensity of the perturbations at auroral latitudes than the an and as indices. However the definition of the AE index (measurement of the distance between the higher and lower envelopes of observatory records superimposed in universal time) implies that it measures the intensity of the perturbation on the single longitude where this intensity is the largest ; in other words, this index is not a measure of the mean level.

Another aspect of the physical meaning of these indices must be clarified ; it concerns the existence of a universal time component. As a global estimation of the magnetic activity intensity at the surface of the Earth, the indices in no way describe the variation of this intensity within a given longitude sector ; indices an and as however give information about the longitude spread of the perturbations, and the detailed daily tables (containing in particular the \bar{K} indices : see figure 2, p. 51 and comments p. 53), such as will be put at the disposal of the scientific community in the World Centers, give complementary information about the longitude variation of the phenomenon. This longitude variation is due, as stated above (cf. paragraph 2.2), to the fact that one longitude sector is subjected (or not) to a perturbation brought about by the solar agent according to its orientation in relation to the Sun ; consequently, the probability of a perturbation occurring in a given longitude sector depends on the local time of this sector, hence the existence of a "local time" component of the daily variation of the activity. Because the observatory network used has a uniform distribution in longitude, indices an , as and am are sensitive to the perturbations, whatever may be the sector where they occur, and therefore, in principle, one could compare them directly to the time variation of the solar agents ; in other words, their mean "universal time" daily variation ought not to exhibit any "universal time" component. However, we have been able to show⁽¹⁾ from a preliminary computation of such indices that they do in fact exhibit a "universal time" component, which is quite large and, moreover, differs from one hemisphere to another. Its analysis showed that it was the sum of 1/ a single "universal time" component (McINTOSH component) similar in both hemispheres, 2/ two "universal time" pseudo-components with particular characteristics in each hemisphere. The consequence of this is evident, but must be emphasized : these new indices, determined from experimental data measuring the magnetic activity, are not a measure of the *solar agents* which bring about the magnetic activity, *but* a measure of *their magnetic effects* in the high atmosphere such as they are recorded at the surface of the Earth. In other words, any search for a correlation between measurements of these solar agents on board satellites and such new indices must take into account the fact that there exist modulations,

(1) Annales Geoph., 23 (1967), p. 603-612.

tenir compte du fait qu'il existe des modulations par le champ magnétique terrestre des effets causés par les agents solaires. Evidemment, les moyennes journalières sont beaucoup moins soumises à une telle restriction.

Pour conclure, mentionnons ce qui nous semble être les deux principales limitations de ces nouveaux indices : l'une est intrinsèque au phénomène lui-même, l'autre est d'ordre purement méthodologique.

La standardisation en latitude a consisté à rapporter toutes les mesures expérimentales à celles qui auraient été faites sur une latitude unique, située à une certaine distance d'une zone aurorale elle-même placée arbitrairement à 69° de latitude magnétique. Or la position de la zone aurorale dépend de l'intensité des phénomènes ; elle descend vers les latitudes inférieures lorsque la force des agents solaires croît et, par conséquent, l'intensité des perturbations ne croît pas dans les mêmes proportions aux hautes et basses latitudes ; en particulier, à la latitude prise comme référence pour la standardisation, elle croît dans une proportion plus grande que ne croît la force des agents solaires. Autrement dit, une double limitation apparaît ici ; d'une part, il n'y a pas stricte proportionnalité entre l'intensité de l'activité et la force des agents solaires, mais un certain facteur de modulation, plus ou moins complexe, relie la première à la seconde ; d'autre part, si la variation dans le temps de l'intensité de l'activité à la latitude prise comme référence est exactement mesurée, elle n'est pas mesurée aussi exactement aux autres latitudes. Cette limitation des indices, intrinsèque au phénomène lui-même, semblerait assez difficile à lever ; il n'est pas évident qu'un réseau d'observatoires très étendu en latitude, à supposer qu'on puisse en disposer, y suffirait.

La non-homogénéité des méthodes utilisées pour la mesure des indices K aux observatoires participant au projet est la source de l'autre limitation. De ce fait, par exemple, on pourra avoir des valeurs élevées de σ_n et σ_s pour de faibles valeurs de a_n et a_s ; ceci dans un certain nombre de cas, pourra être dû uniquement à une contamination des indices K par la variation journalière régulière S_R . On peut cependant espérer que, dans les années à venir, cette imperfection disparaîtra peu à peu.

through the terrestrial magnetic field, of the effects of the solar agents. Evidently, daily mean values are much less liable to such a restriction.

Finally, let us mention what seems to us the two main limitations of validity of these new indices ; the first is intrinsic to the phenomenon measured ; the second is merely of methodological origin.

Through the latitude standardization, all the experimental measures have been normalized to those which would have been made at a single latitude, located at a certain distance from an auroral zone whose mean position was arbitrarily chosen at a magnetic latitude of 69° . Now, the position of the auroral zone depends on the intensity of the phenomena ; it goes down to lower latitudes when the strength of the solar agents increases and, consequently, the intensity of the perturbation does not increase in the same proportions at higher or lower latitudes ; in particular, at the reference latitude of the standardization, it increases more than does the strength of the solar agents. In other words, a double limitation appears here ; firstly, the relation between the intensity of the activity at the reference latitude and the strength of the solar agents is not proportionate, but a certain modulation factor, more or less complex, links the former to the latter ; secondly, if the time variation of the intensity of the activity is correctly measured at the reference latitude, it is not so correctly measured at other latitudes. Such a limitation of the indices, intrinsic to the phenomenon itself, would seem rather difficult to eliminate ; in particular, it is not evident that an observatory network much wider in latitude would be sufficient, even supposing that one had it at one's disposal.

The heterogeneity of the methods used for the K measurements at the observatories taking part in the project is the source of the other limitation. For instance, in a certain number of cases where one will have high values of σ_n and σ_s for low values of a_n and a_s , this will be due only to a contamination of the K indices by the regular daily variation S_p . However one can hope that, in the years to come, such a limitation would be little by little eliminated.

ANNEXE A

STANDARDISATION EN LATITUDE

LATITUDE STANDARDIZATION

1/ Choix d'un système de coordonnées : distance à la zone aurorale

La symétrie parfaite, entre les deux hémisphères, du système de coordonnées magnétiques du dipôle montre à l'évidence qu'un tel système n'est pas apte à ordonner les phénomènes auroraux. B. HULTQVIST, en 1959, avait montré que la forme d'une isochasme aurorale est très proche de celle d'une courbe formée par les pieds des lignes de force du champ réel, dont la distance D au centre de la Terre dans le plan équatorial du dipôle est constante⁽¹⁾. Or il y a, dans le cas du dipôle, une relation biunivoque entre la latitude magnétique d'un point à la surface de la Terre et cette distance D ; de même la longitude magnétique de ce point est identique à celle du point où la ligne de force traverse le plan équatorial. Nous avons en conséquence proposé⁽²⁾ un système de coordonnées magnétiques dans lequel latitude et longitude magnétiques d'un point à la surface de la Terre sont définies à partir de la distance D (retransformée en latitude) et de la longitude auxquelles la ligne de force du champ réel, issue de ce point, traverse le plan équatorial du dipôle. Y. HAKURA a donné ultérieurement⁽³⁾ une nouvelle présentation d'un système équivalent.

Il nous semble présentement qu'un tel système a une application plus limitée que celle que nous proposons en 1960. Il était valable, disions-nous, pour ordonner les phénomènes de la haute atmosphère dont l'origine peut être attribuée à une radiation corpusculaire atteignant cette même haute atmosphère. Ceci s'applique certainement aux latitudes où les perturbations magnétiques, par exemple, les électrojets auroraux, sont engendrés, parce que le point d'impact des corpuscules dépend de la forme des lignes de force du champ réel le long desquelles les corpuscules progressent. Mais ceci n'est plus vrai aux latitudes où les perturbations ob-

1 - Choice of a coordinate system : distance from the auroral zone

The dipole magnetic coordinate system, with its perfect symmetry from one hemisphere to the other, is not suitable for coordinating the auroral phenomena. B. HULTQVIST, in 1959, pointed out that the shape of one auroral isochasm is very close to that of a curve which is the locus of the feet of the true magnetic lines of force, whose distance D to the centre of the Earth in the dipole equatorial plane is constant⁽¹⁾. Now, in the dipole case, there exists an unequivocal relation between the magnetic latitude of a point at the surface of the Earth and the distance D ; moreover, the magnetic longitude of that point is identical to the magnetic longitude of the point where the line of force crosses the equatorial plane. Consequently we proposed⁽²⁾ a magnetic coordinate system in which magnetic latitude and longitude of a point at the surface of the Earth are defined respectively by the distance D (retransformed into latitude) and the longitude at which the line of force of the true field (emerging from this point) crosses the dipole equatorial plane. Y. HAKURA subsequently gave a new presentation of an equivalent system⁽³⁾.

Nowadays, we think that such a system has a field of application narrower than that we proposed in 1960. It was suitable, we said, for coordinating the high atmosphere phenomena whose origin may be ascribed to a corpuscular radiation reaching the high atmosphere. This is quite true at latitudes where the magnetic perturbations (for instance, the auroral electrojets) are generated because the impact point of the particles depends on the shape of the lines of force of the main field along which the particles are progressing. But it is no longer true at la-

(1) "Auroral isochasms", Nature, 183, (1959), p. 1478-1479

(2) "Un nouveau système de coordonnées magnétiques pour l'étude de la haute atmosphère", Ann. Géoph., 16 (1960), p. 273-288

(3) "Tables and maps of geomagnetic coordinates corrected by the higher order spherical harmonic terms", Rep. Ton. Sp. Res Japan 19, (1965), p. 121 - 157.

servées sont seulement les effets, par écoulement dans l'ionosphère, des phénomènes engendrés aux latitudes aurorales ; en effet, la distance horizontale à la zone aurorale d'un point situé à des latitudes inférieures n'est pas proportionnelle à la différence entre la latitude magnétique de ce point et la latitude magnétique choisie pour la zone aurorale. Ainsi, dans l'hémisphère Nord où les courbes d'égale latitude magnétique ont une forme quasi-elliptique, la distance entre la zone aurorale et un point situé sur le petit axe est plus petite que la distance correspondante pour un point de même latitude mais situé sur le grand axe ; dans l'hémisphère Sud, par suite de l'anomalie de l'Océan Indien, la distance à la zone aurorale est beaucoup plus grande dans la région de cette anomalie que la latitude magnétique des points ne le laisserait supposer(1).

Finalement, de ce système de coordonnées magnétiques, on peut dire qu'il ordonne correctement les phénomènes conjugués entre hémisphères et les phénomènes primaires se produisant sur la zone aurorale, mais il devient insuffisant pour ordonner les effets (par écoulement dans l'ionosphère) de ces derniers.

La formation des courants ionosphériques, résultant des phénomènes primaires engendrés aux latitudes aurorales, dépend de paramètres multiples. Cependant, dans la mesure où les effets de ces phénomènes décroissent rapidement vers les latitudes inférieures, il semble logique de considérer que la distance géographique à la zone aurorale est un paramètre plus représentatif que la latitude magnétique. En conséquence, nous adopterons ce paramètre en fixant la position moyenne de la zone aurorale à une latitude magnétique de 69°.

A partir de l'une des dernières analyses du champ terrestre(2) et pour l'époque 1965, les coordonnées géographiques de points de latitude magnétique $\pm 69^\circ$ et de longitude magnétique 0, 10°, 20°, ... 350° ont été calculées en suivant les lignes de force du champ réel à partir du plan équatorial du dipôle. La distance géographique (en degrés terrestres) de cha-

titudes where the observed perturbations are only the effects, by outflow in the ionosphere, of the auroral phenomena ; indeed, the horizontal distance between the auroral zone and a point located at lower latitudes is not proportional to the difference between the magnetic latitudes of the auroral zone and of that point. Thus in the Northern hemisphere, where the curves of equal magnetic latitude have a quasi-elliptical shape, the geographical distance between the auroral zone and a point on the minor axis is less than the corresponding distance for a point having the same latitude but on the major axis ; in the Southern hemisphere, because of the Indian Ocean anomaly, the distance from the auroral zone is much larger in the region of this anomaly than the magnetic latitude of a point would lead us to suppose(1).

Finally, one can say that such a system seems appropriate for the conjugate point phenomena and the primary phenomena occurring on the auroral zone ; but, it becomes insufficient when one attempts to coordinate the effects (by outflow in the ionosphere) of the latter.

The formation of the ionospheric currents, which result from the primary phenomena generated at auroral latitudes ; depends on multiple parameters. However, since the effects of these phenomena rapidly decrease towards lower latitudes, it seems logical to consider that the geographical distance to the auroral zone is a parameter more significant than the magnetic latitude. Consequently, we adopt such a parameter ; moreover, we choose a magnetic latitude of 69° for the mean position of the auroral zone.

From one of the last analyses of the terrestrial magnetic field(2) and for the epoch 1965.0, the geographical coordinates of points, with magnetic latitude $\pm 69^\circ$ and magnetic longitude 0° 10°, 20°... 350°, have been computed by proceeding along the lines of force from the dipole equatorial plane. Then the geographical distance (in terrestrial degrees) of each observatory to the curve made up by these points was determined. For the observa-

(1) Voir, par exemple, les cartes publiées dans l'Atlas des Indices K , IAGA Bulletin n° 21, Volume 2, fig. 17 & 18.

(1) See for instance, the maps published in the Atlas of Indices K , IAGA Bulletin n° 21, Volume 2, fig. 17 and 18.

(2) J. G. CAIN et al., "A proposed model for the international geomagnetic reference field, 1965", Journ. Geom. and Geoelect., 19 (1967), p. 335-355.

que observatoire à la courbe formée par ces points a alors été déterminée. Pour les observatoires que nous utiliserons et dont les latitudes magnétiques auraient été de 50° environ, soit encore 19° comme différence en latitude magnétique avec la latitude choisie pour la zone aurorale, les distances géographiques ainsi calculées varient de ± 2° par rapport à cette valeur; pour un observatoire tel que Hermanus, elle est supérieure de presque 10° à la différence entre les latitudes magnétiques de l'observatoire et de la zone aurorale.

2 - Variation standard, en latitude, de la limite pour $K = 9$

En principe, une variation proportionnelle, en fonction de la latitude, de toutes les classes d'amplitudes des échelles de mesure⁽¹⁾ devrait suffire à assurer la standardisation en latitude des indices K . En fait, une telle variation proportionnelle ne donne pas un résultat satisfaisant pour toutes les latitudes⁽²⁾ parce que, en particulier, le spectre des amplitudes tri-horaires a est trop différent sur la zone aurorale (ou à l'intérieur de celle-ci) et aux autres latitudes. Dans la zone de latitudes sub-aurorales, où l'intensité de l'activité ne varie pas trop rapidement avec la latitude, les spectres de fréquence sont à peu près semblables et la méthode est applicable; en conséquence, une limite inférieure pour $K = 9$ qui serait proportionnelle à la variation en latitude de l'intensité de l'activité y donnerait une standardisation idéale.

Lors du calcul préliminaire fait pour ces nouveaux indices planétaires, nous avons montré que le niveau de l'activité variait avec la longitude⁽³⁾. La détermination de la variation en latitude de l'intensité de l'activité magnétique ne peut donc être faite à partir de données provenant d'observatoires dont la longitude est trop différente. On pourrait envisager de la déterminer dans chaque secteur de longitude, mais le réseau d'observatoires disponibles ne le permet pas; d'ailleurs ce n'est pas nécessaire. Supposons en effet que cette détermination soit faite dans un secteur donné, et que la variation-standard de la limite inférieure pour $K = 9$

tories which we use and whose magnetic latitudes would have been of about 50° (that is to say with a difference of 19° in latitude from the latitude chosen for the auroral zone), the geographical distances computed vary by up to about ± 2° with respect to this value. For an observatory such as Hermanus, the distance to the auroral zone is about 10° greater than the difference between magnetic latitudes of the observatory and of the auroral zone.

2 - Standard variation, with latitude, of the lower limit for $K = 9$

In principle, a proportional variation, as a function of the latitude, of all amplitude classes of the measurement scales⁽¹⁾ should be sufficient to assure the latitude standardization of K indices. In fact, such a proportional variation does not give a satisfactory result for all latitudes⁽²⁾ because, in particular, the frequency spectrum of the three hourly amplitudes a differs too much between the auroral zone (or inside it) and other latitudes. Inside the subauroral zone, where the activity intensity does not vary too rapidly with latitude, the frequency spectra are almost similar and the method works. Consequently, a lower limit for $K = 9$ which would be proportional to the latitude variation of the intensity of the activity would provide an ideal standardization there.

When computing preliminary new indices a_n , a_s and a_m , we pointed out that the level of the activity varies with longitude⁽³⁾. Therefore, the determination of the latitude variation of the intensity of the activity cannot be made with data coming from observatories whose longitude varies too greatly. One could try to determine it in each longitude sector; but the existing observatory network does not permit one to do it. Besides, this would be superfluous. Indeed let us suppose that such a determination is made for a given sector and that the standard variation of the lower limit for $K = 9$ is deduced from it. When this standard va-

(1) C'est la raison pour laquelle une échelle de mesure peut être définie (et est ordinairement définie) par la valeur de la limite inférieure pour $K = 9$.

(1) This is the reason for which a measurement scale can be defined (and is usually defined) by the value of the lower limit for $K = 9$.

(2) IAGA Bulletin n° 21, Atlas des Indices K , p. 35-36

(3) Voir, dans Ann. Géoph., 23 (1967), p. 605-612, la description des pseudo-composantes "Temps Universel".

(3) See, in Ann. Géoph. 23 (1967), p. 605-612, the description of the "universal time" pseudo-components.

en soit déduite. Lorsque cette variation-standard sera utilisée dans un autre secteur où l'activité est légèrement plus forte, les indices K résultants seront en moyenne légèrement plus élevés, mais leurs spectres de fréquence ne seront pas profondément différents. D'autre part, les causes de la décroissance en latitude de l'activité d'origine aurorale (en particulier, extension en longitude des systèmes de courants engendrés par les électrojets auroraux, excentrement vers les latitudes supérieures du foyer de ces systèmes de courants) sont les mêmes à toute longitude. Par conséquent, la forme de la variation en latitude de l'intensité ne varie que peu (si elle varie) avec la longitude ; l'ensemble de ces variations pour différents secteurs de longitude formerait un réseau de courbes parallèles légèrement équidistantes les unes des autres. Finalement, utiliser, à une distance donnée de la zone aurorale et quel que soit le secteur de longitude, la même limite inférieure pour $K = 9$ (déterminée à partir de l'un des secteurs) correspond à tenir compte des différences qui existent entre les divers secteurs de longitude dans chaque hémisphère et d'un hémisphère à l'autre.

Nous avons choisi le secteur de longitudes européennes pour déterminer la variation, en latitude, de l'intensité de l'activité magnétique. Les amplitudes moyennes de l'activité en six observatoires (Tromsø, Lerwick, Eskdalemuir, Hartland, Ebro et Ksara) ont été calculées à partir des indices K de 9 années (1958-1966), par transformation de ceux-ci en amplitudes. Le tableau A1 donne les valeurs de ces amplitudes moyennes et les distances d (en degrés terrestres) des observatoires à la zone aurorale ainsi que les quantités $\varphi_e = 69^\circ - d$ (ces quantités ont pour seul but de transposer en une quantité analogue à la latitude magnétique, notion plus courante, les distances à la zone aurorale).

Tableau A1

	TR	LE	ES	HA	EB	KS	(équateur)
d	2°65	9°40	13°70	17°66	28°32	39°14	
φ_e	66°35	59°60	55°30	51°34	40°68	29°86	
a (γ)	147.13	46.42	34.85	23.39	15.76	14.37	(13.50)

Les deux premiers de ces six observatoires n'appartiennent pas à la zone sub-aurorale. Leur utilisation ici a pour but de rendre plus significatif le calcul de la courbe de variation de l'intensité de l'activité aux latitudes sub-aurorales. De même, nous avons introduit (voir ta-

riation is used for another sector where the activity is slightly larger, the resulting K indices will be, on the average, slightly higher but their frequency spectra will not differ greatly. Moreover the causes of the decrease with latitude of the activity whose origin is auroral (in particular, spread in longitude of the current systems generated by the auroral electrojets, shift of the focus of the current systems towards higher latitudes) are the same at any longitude. Consequently, the shape of the latitude variation of the intensity varies little (if at all) with longitude ; the whole of these variations for various longitude sectors would make up a network of parallel curves, at a slight distance from each other. Finally, the use of the same lower limit for $K = 9$ (determined from one of the sectors), at a given distance from the auroral zone and whatever the longitude sector may be, corresponds to taking into account the existing differences between the various longitude sectors in each hemisphere and from one hemisphere to the other.

We chose the European longitude sector for determining the latitude variation of the intensity of activity. The average amplitudes at six observatories (Tromsø, Lerwick, Eskdalemuir, Hartland, Ebro, Ksara) were computed from K indices of nine years (1958-1966) by transforming them into amplitudes. Table A1 gives the values of these mean amplitudes a and the distance d (in terrestrial degrees) of the observatories to the auroral zone as well as the quantities $\varphi_e = 69^\circ - d$ (the only aim of such quantities is to convert the distances to the auroral zone into a quantity analogous to the magnetic latitude, which is a notion in more current use).

The first two observatories do not belong to the subauroral zone. The purpose of their use here is to improve the computation of the variation curve of the intensity of activity at subauroral latitudes. Likewise, we introduced (see table A1) an estimated value of the amplitude of the

bleau A1) une valeur estimée de l'amplitude de l'activité à l'équateur⁽¹⁾; elle a pour but d'imposer à la courbe qui sera calculée une décroissance aussi lente que possible vers les basses latitudes.

activity at the equator⁽¹⁾; its aim is to impose on the curve being computed a decrease as slow as possible towards low latitudes.

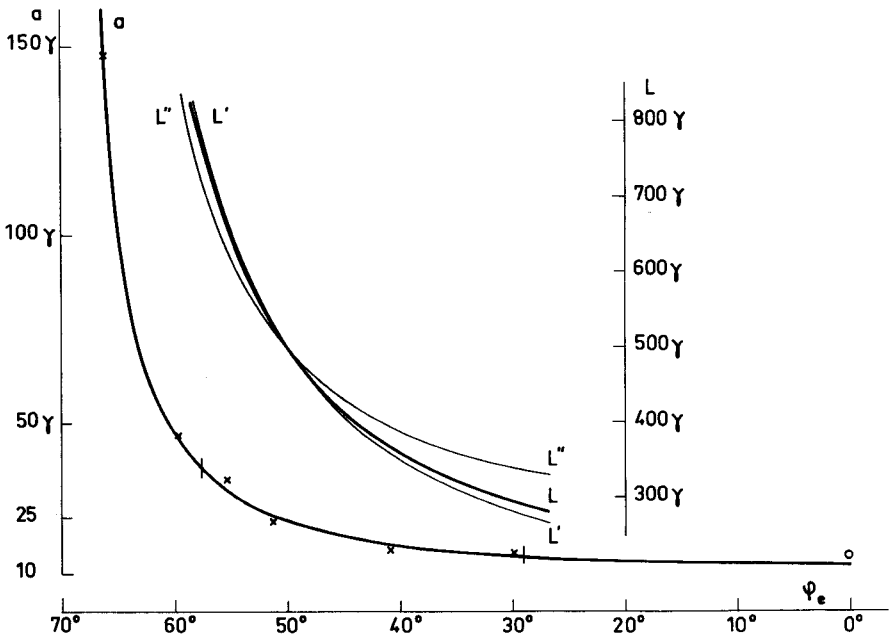


Figure A1

La figure A1 (courbe a) montre comment la courbe calculée par moindres carrés se situe par rapport aux points expérimentaux. La fonction mathématique utilisée, de la forme

$$y = \frac{2(ax^2 + bc)}{c^2 - x^2}$$

(x étant égal à φ_e), correspond à la somme de deux hyperboles dont les asymptotes verticales sont situées un peu au delà de $\pm 69^\circ$ ⁽²⁾ et dont les asymptotes horizon-

Figure A1 (curve a) illustrates how the curve computed by least squares goes through the experimental dots. The mathematical function used

$$y = \frac{2(ax^2 + bc)}{c^2 - x^2}$$

(where $x = \varphi_e$) corresponds to the sum of two hyperbolæ whose vertical asymptotes are located a little beyond $\pm 69^\circ$ ⁽²⁾ and whose horizontal asymptotes are the sa-

(1) Nous disposons pour Tamanrasset de 3 années d'indices seulement. C'est à partir de l'amplitude moyenne de ces 3 années que la valeur à l'équateur a été estimée, en négligeant évidemment l'amplification causée par l'électrojet équatorial, cf., "Electrojet équatorial et activité magnétique", Ann. Géoph., 19 (1963), p. 164-179

(2) Il est donc évident que cette courbe ne peut être extrapolée aux latitudes aurorales.

(1) We had at our disposal a three-year sample of indices at Tamanrasset. The value at the equator was estimated from the average amplitude of these three years. Clearly, the amplification of the activity, caused by the equatorial electrojet, was neglected (cf. "Electrojet équatorial et activité magnétique", Ann. Geoph. 19, (1963), p. 164-179).

(2) Thus it is obvious that such a curve cannot be extrapolated at auroral latitudes.

tales sont les mêmes. Les écarts aux points expérimentaux restent faibles, et les différences premières successives des valeurs expérimentales, assez irrégulières, conduisent à penser qu'ils sont dus soit à des imperfections dans les mesures d'indices, soit à des effets anormaux de courants induits. Les deux traits verticaux, situés à $\varphi_e = 58^\circ$ et 29° , limitent la zone de latitudes pour laquelle la standardisation sera faite : ceci permet de mieux apprécier combien il était important d'utiliser des valeurs expérimentales extérieures à cette zone pour que la variation en latitude de l'intensité soit mieux définie tant en forme qu'en position.

La variation standard en latitude de la limite inférieure L pour $K = 9$ (courbe L de la figure A1) a été déduite de la courbe a par la formule

$$L_{\varphi_e} = \frac{L_{50^\circ}}{a_{50^\circ}} a_{\varphi_e}$$

la valeur L_{50° a été choisie égale à 500 gammas, valeur ordinairement utilisée aux observatoires situés à cette latitude.

A la courbe L de la figure A1, deux autres courbes sont adjointes : les courbes L' et L''. Celles-ci sont obtenues par une méthode identique soit à partir des années 1958-60 (courbe L' : niveau élevé d'activité, avec $Ap = 21.2$), soit à partir des années 1964-66 (courbe L'' : niveau faible d'activité, avec $Ap = 9.3$). Une question importante se pose en effet : est-ce que la variation standard obtenue pour L à partir des 9 années (1958-1966) est valable pour n'importe quel niveau d'activité ? On sait que la position moyenne de la zone aurorale dépend du niveau de l'activité solaire, et il n'y a donc aucune raison pour que la variation en latitude de l'intensité de l'activité magnétique reste la même ; au contraire, il doit y avoir un déplacement en latitude de la courbe de variation.

La comparaison de la courbe L (qui sera finalement retenue pour la standardisation) et des courbes L' et L'' permet de juger de l'approximation ainsi introduite⁽¹⁾. Aux latitudes proches de $\varphi_e = 50^\circ$ (à environ 2 ou 3° près), les écarts entre les différentes courbes sont faibles et c'est pourquoi les observatoires seront choisis

(1) D'ailleurs ces différentes courbes ont une signification purement statistique : elles correspondent à une variation de la position moyenne de la zone aurorale pour diverses périodes de trois ans chacune. En fait, cette position peut varier considérablement d'une perturbation à l'autre et en tenir compte pour chaque perturbation serait impossible.

me. Deviations of the experimental dots from the curve are small and successive first differences of the observed values, which are rather irregular, lead one to think that the deviations are due either to imperfections in the index measurements, or to abnormal effects of induced currents. The two short vertical lines drawn at $\varphi_e = 58^\circ$ and 29° limit the latitude zone within which the standardization will be made. One can readily appreciate the importance of using experimental values outside this zone, since, by means of these, the latitude variation of the intensity is better defined both in shape and in position.

The standard latitude variation of the lower limit for $K = 9$ (curve L of figure A1) was deduced from curve a by the formula

$$L_{\varphi_e} = \frac{L_{50^\circ}}{a_{50^\circ}} a_{\varphi_e}$$

the value L_{50° was chosen equal to 500 gammas, the one usually adopted by the observatories located near this latitude.

Two other curves (L' and L'') are associated with curve L. They are obtained in the same way either from the years 1958 - 1960 (curve L' : high level of activity, with $Ap = 21.2$), or from the years 1964 - 1966 (curve L'' : low level of activity, with $Ap = 9.3$). Indeed the following important question must be answered : is the standard variation obtained for L from a nine year sample suitable for any activity level ? One knows that the average position of the auroral zone depends on the level of the solar activity, and there is no reason why the latitude variation of the intensity of activity should remain the same ; on the contrary, a latitude shift of the variation curve must occur.

Comparison between curve L (which finally will be retained for the standardization) and curves L' and L'' permits one to judge the approximation thus introduced⁽¹⁾. At latitudes close to $\varphi_e = 50^\circ$ (within about 2 or 3°), the deviations between the various curves L are small and hence, the observatories will be chosen

(1) Moreover, the significance of such curves is a statistical one only : they exhibit a variation of the mean position of the auroral zone during various three-year periods. In fact, that position can greatly vary from one perturbation to another, and taking this variation into account for each perturbation would be impossible in practice.

de préférence le plus près possible de la latitude $\varphi_e = 50^\circ$. Des latitudes supérieures aux latitudes inférieures, les écarts changent de sens ; c'est pourquoi, lorsque, dans un secteur de longitude, un observatoire sera choisi à une latitude s'écartant nettement de $\varphi_e = 50^\circ$, on cherchera à lui adjoindre un observatoire situé à une latitude symétrique par rapport à 50° .

Notons enfin que l'influence de la variation séculaire du champ sur les distances d à la zone aurorale est telle que les variations des limites inférieures pour $K = 9$ qui en résulteraient sont pratiquement négligeables à l'échelle de plusieurs dizaines d'années.

Dans l'annexe C, relative au choix des observatoires, nous indiquerons les modifications qui seront imposées à chacune des limites inférieures pour $K = 9$ adoptées par les observatoires. Précisons seulement ici la règle que nous adopterons.

Les limites inférieures couramment utilisées pour les mesures elles-mêmes sont arrondies à 50 gammas près. Du point de vue de la standardisation en latitude que nous cherchons à réaliser (à savoir, rattacher à une unité identique les indices K d'observatoires divers), ceci présente un inconvénient. En effet, de telles limites inférieures pourraient correspondre à une erreur de l'ordre de 25/500 (soit 5 %) dans la région $\varphi_e = 50^\circ$ et à une erreur supérieure aux latitudes inférieures. En conséquence, les valeurs modifiées des limites inférieures que nous donnerons dans l'annexe C ont été calculées en les arrondissant à 10 gammas.

as close as possible to a latitude $\varphi_e = 50^\circ$. From the higher latitudes to the lower latitudes, the deviations are in the opposite sense ; thus when, in a longitude sector, an observatory is chosen at a latitude distinctly different from $\varphi_e = 50^\circ$, one will try to associate with it an observatory whose latitude is symmetrical with respect to 50° .

Finally, note that the influence of the secular variation of the field on the distances d to the auroral zone is such that the resulting variations of the lower limits for $K = 9$ are practically negligible at a scale of some tens of years.

In appendix C, dealing with the choice of the observatories, we indicate the modifications imposed on each of the lower limits for $K = 9$ adopted by the observatories. Let us here specify the rule which we have adopted for this operation.

The lower limits currently used for the measurements are rounded to 50 gammas. From the point of view of the latitude standardization which we are trying to carry out (that is to say, to link up the indices K from various observatories to an identical unit), such a rounding does not seem satisfactory. Indeed, a lower limit could correspond to a possible error of 25/500 (ie., 5 %) in the region $\varphi_e = 50^\circ$, and to a greater error at lower latitudes. Consequently, the modified values of the lower limits, as given in appendix C, have been computed by rounding to 10 gammas.

ANNEXE B

DETERMINATION DES K_c

Cette annexe décrit le mode de transformation des K (nombres entiers) en K_c (nombres décimaux), transformation dont le but est de réaliser la standardisation en latitude des indices K .

La figure B1 montre comment la valeur des indices K est modifiée par un changement de la valeur adoptée comme limite inférieure pour $K = 9$. On a représenté, à droite, une grille de mesures des indices K , de limite inférieure $L = 500$ gammas pour $K = 9$, que nous supposons avoir été adoptée en un observatoire, et, à gauche, la grille de mesures de limite inférieure $L_c = 600$ gammas, qui conviendrait en fait pour les mesures d'indices K en cet observatoire. Considérons, par

DETERMINATION OF K_c 's

This appendix describes the method by which indices K 's (integers) are transformed into indices K_c 's (decimal numbers), in order to carry out the latitude standardization of the indices K .

Figure B1 illustrates how the value of K indices is modified when changing the value adopted as a lower limit for $K = 9$. On the right hand side, a measurement scale, with a lower limit $L = 500$ gammas for $K = 9$, is drawn ; we suppose that it has been adopted at one observatory. On the left hand side, a scale, with a lower limit $L_c = 600$ gammas, is drawn, which should be the proper one at this observatory. Consider, for instance, the class of amplitudes $K = 6$ of the scale

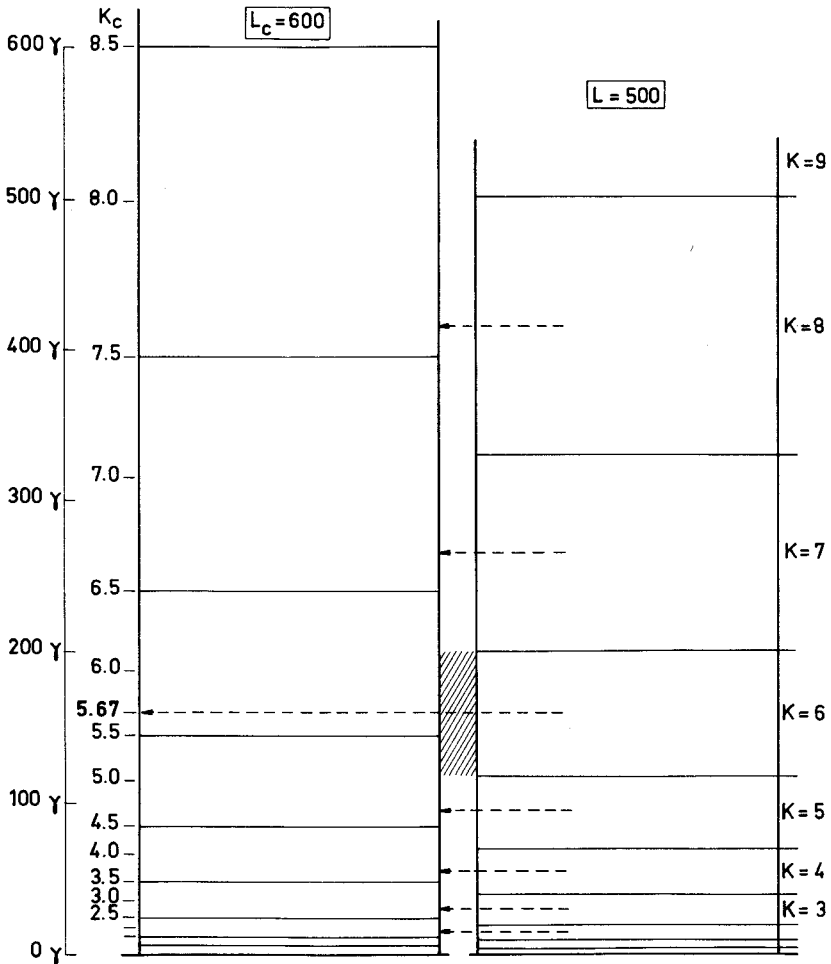


Figure B1

exemple, la classe d'amplitudes $K = 6$ dans l'échelle $L = 500$; ses limites inférieure et supérieure sont égales à 120 et 200 gammas. Dans l'échelle $L_c = 600$, ces limites sont respectivement situées à l'intérieur de la classe $K = 5$ et de la classe $K = 6$; les indices $K = 6$, mesurés avec l'échelle L , seraient donc tantôt égaux à 5 et tantôt égaux à 6 si ils étaient mesurés avec l'échelle L_c ; en moyenne, ils seraient plus souvent égaux à 6 qu'à 5.

Or nous avons montré⁽¹⁾ que, si diverses séries d'indices K sont mesurés sur les mêmes enregistrements avec des é-

$L = 500$; its lower and upper limits are equal to 120 and 200 gammas. In the scale $L_c = 600$, these limits are respectively inside the class $K = 5$ and the class $K = 6$; indices $K = 6$, measured with the scale L , would be sometimes equal to 5, and sometimes equal to 6 when measured with the scale L_c ; on average, they would be more often equal to 6 than to 5.

Now, we have pointed out⁽¹⁾ that, if various series of K indices are measured on the same records with scales whose lower limits for $K = 9$ are different, the transformation of each of these series of

(1) IAGA Bulletin n° 21, Atlas des indices K , p. 36.

chelles dont les limites inférieures pour $K = 9$ sont différentes, la transformation de chacune de ces séries d'indices, par l'utilisation de poids correspondant à chacune des échelles, donne des amplitudes moyennes pratiquement semblables. C'est ce fait qui justifie le procédé que nous utiliserons pour transformer les K en K_c afin de réaliser la standardisation en latitude.

Supposons en effet (voir figure B1) que, dans l'échelle L_c , l'indice K varie linéairement à l'intérieur de chaque classe en fonction de l'amplitude, sa valeur étant égale à K au milieu de chaque classe et à $K + 0.5$ à la frontière supérieure de chaque classe : soit K_c cet indice. Il est possible de déterminer une valeur de K_c pour le milieu de chaque classe d'amplitudes de l'échelle de mesures L (ainsi, le milieu de la classe $K = 6$ de celle-ci correspond à une valeur 5.67 de l'indice K_c : on voit que, selon la remarque faite ci-dessus, on obtient une valeur corrigée K_c qui est plus proche de 6 que de 5). Chaque indice K_c correspond donc à la valeur de l'indice K qui aurait été mesuré dans l'échelle L_c . La standardisation en latitude est donc bien obtenue.

Les classes d'amplitudes $K = 0$ et $K = 9$ méritent une mention spéciale.

1/ Classe $K = 0$

Si $L_c < L$, K_c serait supérieur à 0 ; mais si $L_c > L$, K_c serait inférieur à 0 et aurait donc une valeur négative.

Il ne serait, en aucune manière, illogique d'avoir de telles valeurs négatives puisque les K (ou K_c) sont en fait approximativement les logarithmes des amplitudes. Une correction correspondrait en fait à un déplacement de la frontière supérieure de quelques dixièmes de gammas, ce qui est de peu de signification ; il a donc semblé préférable de ne pas introduire de correction.

2/ Classe $K = 9$

Il est nécessaire d'abord de définir l'amplitude qui correspond à $\bar{K} = 9.0$, puisque, cette classe n'ayant pas de limite supérieure, son milieu n'est pas déterminé. Nous avons retenu une valeur proposée antérieurement⁽¹⁾ : 400 gammas, dans le cas d'une échelle de limite inférieure 300 gammas pour $K = 9$. Cette valeur étant alors considérée comme le milieu de la classe, la limite supérieure

indices, by using weights corresponding to each scale, gives average amplitudes which are practically equal. This fact justifies the method which we shall use for transforming the K 's into K_c 's in order to carry out the latitude standardization.

Let us suppose (see figure B1) that, in the scale L_c , the K index varies linearly inside each class of amplitudes ; its value is taken as equal to K at the middle of the class, and to $K + 0.5$ at the upper limit : let us call this index K_c . We can determine the value of K_c for the middle of each amplitude class of the scale L (thus, the middle of the class $K = 6$ of the scale L corresponds to a value 5.67 of the index K_c ; according to the remark made above, the corrected value K_c is closer to 6 than to 5). Each index K_c corresponds therefore to the value of the index K which would have been measured with the scale L_c . The latitude standardization is thus carried out.

The classes $K = 0$ and $K = 9$ call for a special mention.

1/ Class $K = 0$

If $L_c < L$, K_c would be higher than 0 ; but if $L_c > L$, K_c would be lower than 0 and therefore would have a negative value.

Such negative values would, in no way, be illogical since the K 's (or the K_c 's) are approximately the logarithms of the amplitudes. In fact, a correction would mean a move of the upper limit by some tenths of gammas, which would be unimportant ; it seemed therefore better not to introduce any correction for the class $K = 0$.

2/ Class $K = 9$

The first step is to choose the amplitude which corresponds to $\bar{K} = 9.0$, since the middle of this class is not defined (it has only a lower limit). We retain a value previously proposed⁽¹⁾ 400 gammas, in the case of a scale whose lower limit for $K = 9$ is 300 gammas. If this value is considered as corresponding to the middle of the class, its upper limit would be equal to 500 gammas. Such a value is not,

(1) Bulletin IAGA n° 21, Atlas des Indices K , p. 34.

de celle-ci serait égale à 500 gammas. Une telle valeur n'est pas en fait une limite supérieure absolue des amplitudes tri-horaires de l'activité ; l'intervalle de 6 à 9 h T.U. du 16 avril 1938 en serait un exemple⁽¹⁾. Mais si l'on considère que le nombre de $Kp = 9_0$ durant la période 1932-1961 est égal à 16 (soit 0.02 % des intervalles tri-horaires) et que le nombre de $Kp = 9_-$ est quatre fois supérieur, il est évident que, pour la grande majorité des 16 intervalles à $Kp = 9_0$, l'amplitude tri-horaire restait à l'intérieur de la classe d'amplitudes définie pour $K = 9$. Par conséquent, les K_c correspondant à $K = 9$, pour les diverses valeurs de L_c , ont été déterminés à partir de la valeur proposée (400 gammas, pour une échelle de limite inférieure 300 gammas pour $K = 9$). On notera que K_c peut donc être supérieur à 9.

in fact, an absolute upper limit for the three-hourly amplitudes of the activity ; the 6 h - 9 h U.T. of the 16 april 1938 would be an example⁽¹⁾. But the number of $Kp = 9_0$ during the period 1932-1961 is equal to 16 (that is to say, 0.02 % of the three-hourly intervals) and the number of $Kp = 9_-$ is four times larger ; hence, it is clear that, for the great majority of these 16 intervals with $Kp = 9_0$, the three-hourly amplitude was smaller than the upper limit defined for $K = 9$. Consequently, the K_c 's corresponding to $K = 9$, for the various values of L_c , have been determined from the proposed value (400 gammas, in the case of a scale whose lower limit for $L = 9$ is 300 gammas). Let us note that K_c could be greater than 9.

Tableau B1

		K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L	L_c											
500	600	K_c	0	0.75	1.75	2.75	3.69	4.68	5.67	6.66	7.59	8.67
500	400	K_c	0	1.38	2.38	3.38	4.46	5.48	6.50	7.51	8.56	9.50

Le tableau B1 donne deux exemples de la modification d'échelle de mesures, dont la première correspond à celle représentée dans la figure B1.

Table B1 gives two examples of the modification of measurement scales, where the first one corresponds to that illustrated in figure B1.

ANNEXE C

CHOIX DES OBSERVATOIRES

La figure C1 et le tableau C1 indiquent quels sont les observatoires choisis et en quels groupes ils ont été répartis. Un observatoire supplémentaire (Magadan) est utilisé en 1967 ; nous espérons que deux autres observatoires (Orcadas et Petropavlosk) compléteront le réseau en 1968 et 1969. L'utilisation de ces nouveaux observatoires ne doit pas modifier de manière importante les résultats obtenus

CHOICE OF THE OBSERVATORIES

Figure C1 and table C1 indicate what are the observatories chosen and into what groups they have been distributed. One more observatory is used in 1967 ; we hope that two other observatories (Orcadas and Petropavlosk) will complete the network in 1968 and 1969. Using these new observatories should not greatly modify the results obtained since they are inserted in groups already existing, but

(1) Voir S. CHAPMAN et J. BARTELS, "Geomagnetism", I, p. 329, figure 33A. L'enregistrement présenté est celui de Niemegek. A cette station, où la limite inférieure pour $K = 9$ est égale à 500 gammas, la limite supérieure de la classe $K = 9$ précédemment définie serait égale à 833 gammas. Or l'amplitude tri-horaire de l'activité sur la composante horizontale entre 6 et 9 h est supérieure à 1700 gammas.

(1) See S. CHAPMAN and J. BARTELS, "Geomagnetism", I, p. 329, figure 33 A. The record shown is from Niemegek. At this station, where the lower limit for $K = 9$ is equal to 500 gammas, the upper limit for $K = 9$, as defined above, would be equal to 833 gammas. Now the three-hourly amplitude in component H is larger than 1700 during this interval.

puisqu'ils sont intégrés dans les groupes déjà existants, mais elle améliorera la mesure de l'activité dans les groupes concernés.

Ce réseau appelle les remarques suivantes. Géographiquement⁽¹⁾, et plus précisément par rapport aux océans, les groupes se répartissent ainsi : dans l'hémisphère Nord, côte occidentale du Pacifique (G_1^n), centre de l'Eurasie (G_2^n), Europe ou côte orientale de l'Atlantique (G_3^n), côte occidentale de l'Atlantique (G_4^n), côte orientale du Pacifique (G_5^n) ; dans l'hémisphère Sud, Australasie (G_1^s), partie occidentale de l'Océan Indien et Sud de l'Afrique (G_2^s), frontière entre l'Atlantique et le Pacifique (G_3^s).

Trois groupes, pour les premières années du calcul, ne contiennent qu'un seul observatoire. Rappelons que l'existence de plusieurs observatoires dans chaque groupe n'est pas indispensable (cf. 2. 2 et 2. 3). Dans l'avenir, seul le groupe G_4^n restera éventuellement formé d'un seul observatoire pendant encore un certain nombre d'années (l'observatoire d'Agincourt est trop haut en latitude pour être utilisé). On aurait pu envisager de former un seul groupe avec les observatoires du continent américain. Cependant la largeur de ce continent aux latitudes intéressées et la distribution en longitude des autres groupes ont conduit à préférer la constitution d'un groupe sur chacune des côtes de ce continent.

Le tableau C1 précise la valeur de la distance d à la zone aurorale. Si l'on se reporte à la description de la standardisation en latitude faite dans l'annexe A, on peut noter que, dans la majorité des cas, cette valeur est proche de 19° (soit une latitude magnétique d'environ 50°). Dans les groupes où des observatoires de latitude nettement différente ont dû être choisis, un certain équilibre est maintenu autour de cette valeur 19° . C'est le groupe G_2^s qui, à ce point de vue de la distribution en latitude, est le moins satisfaisant : les observatoires retenus sont les seuls qui existent dans cette région, et l'association de Kerguelen, qui est un peu trop proche de la zone aurorale, à Hermanus dont la latitude est relativement basse, permet d'espérer que ce groupe reste relativement significatif.

Les deux dernières colonnes du tableau C1 indiquent la valeur L de la limite inférieure pour $K = 9$ utilisée à chaque observatoire et la valeur modifiée L_c que la

will improve the measure of the activity in the groups concerned.

One can make the following remarks about this network. Geographically⁽¹⁾, and in particular with regard to the oceans, these groups are distributed in the following manner : in the Northern hemisphere, Western coast of the Pacific Ocean (G_1^n), centre of Eurasia (G_2^n), Europe or Eastern coast of the Atlantic Ocean (G_3^n), Western coast of the Atlantic Ocean (G_4^n), Eastern coast of the Pacific Ocean (G_5^n) ; in the Southern hemisphere, Australasia (G_1^s), Western part of the Indian Ocean and Southern tip of Africa (G_2^s), the border between the Atlantic and Pacific Oceans (G_3^s).

Three groups contain only one observatory for the first three years of the computation. Recall that the existence of several observatories in each group is not essential (cf. § 2. 2 and 2. 3). In future, only the group G_4^n will eventually remain with a single observatory during a certain number of years (the Agincourt observatory is too high in latitude to be used). One could consider the possibility of making up a single group from the observatories of the American continent ; however its width at latitudes of interest together with the longitude distribution of the other groups led us to prefer the formation of one group on each coast.

Table C1 specifies the value of the distance d between each observatory and the auroral zone. If one refers to the description of the latitude standardization made in appendix A, one can note that, in most cases, this value is close to 19° (that is to say 50° of equivalent magnetic latitude). In the groups where we had to choose observatories of very different latitude, a certain balance is kept around this value of 19° . Group G_2^s , from the point of view of the latitude distribution, is the least satisfactory : the observatories chosen are the only ones existing in this region and the association of Kerguelen, which is a little too close to the auroral zone, and of Hermanus whose latitude is relatively low, permits us to hope that this group remains relatively representative.

Finally, the two last columns of table C1 give the value L of the lower limit for $K = 9$ used at each observatory and the modified value L_c which is imposed by

(1) Nous reprendrons dans l'annexe F la question de la pondération en longitude.

(1) In appendix F, we shall again take up the question of the longitude weighting.

Tableau C1

	1964-1966	1967	1968	d	L	L_c	
HEMISPHERE NORD							
G_1^N : Memanbetsu [MT]	+	+	+	31°3	350	340	
				Petropavlosk [PK]	21°5	500	450
				Magadan [MG]	15°0	550	610
G_2^N : Tomsk [TM]	+	+	+	18°4	350	510	
				Sverdlovsk [SV]	17°6	550	530
G_3^N : Niemegek [NI]	+	+	+	18°9	500	500	
				Witteveen [WI]	17°4	500	540
				Hartland [HA]	17°7	500	530
G_4^N : Fredericksburg [FR]	+	+	+	18°4	500	510	
G_5^N : Victoria [VI]	+	+	+	13°8	500	650	
				Tucson [TU]	27°1	350	380
HEMISPHERE SUD							
G_1^S : Amberley [AM]	+	+	+	17°6	500	530	
				Toolangi [TO]	18°6	500	510
				Gnangara [GN]	22°4	350	430
G_2^S : Kerguelen [KG]	+	+	+	11°7	750	760	
				Hermanus [HR]	39°1	300	300
G_3^S : Argentine Island [AR]	+	+	+	19°5	500	490	
				Orcadas [OR]	24°4	400	410

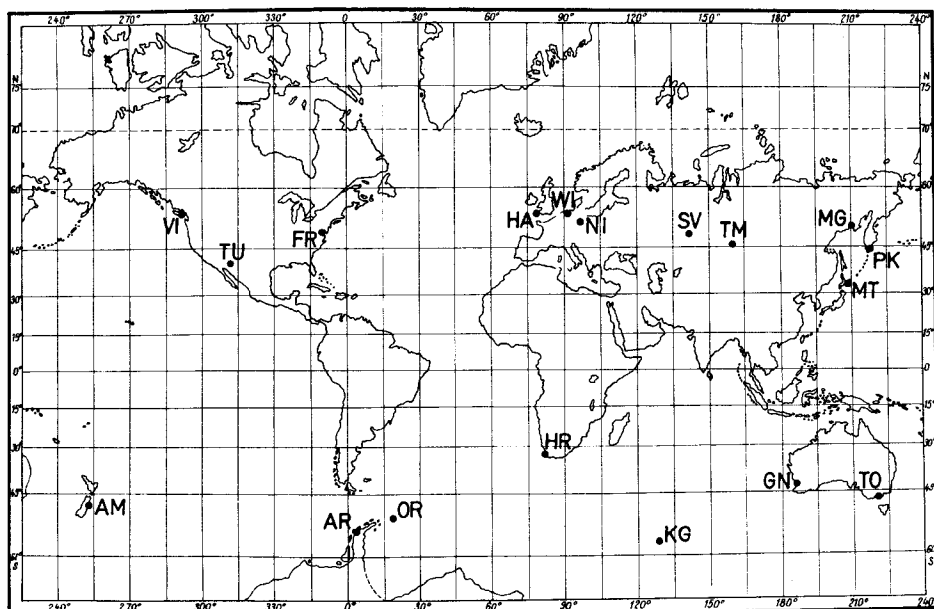


Figure C1

distance de l'observatoire à la zone aurorale impose (cf. annexe A). C'est à partir de ces valeurs que les valeurs K_c du tableau 1 ont été calculées.

La variation journalière, en temps local, de l'activité est l'un des traits saillants de ce phénomène (cf. 2.3) ; or si la dispersion, en longitude, des observatoires varie beaucoup d'un groupe à l'autre, les variations journalières, en temps local, de l'activité telles qu'elles sont mesurées par les indices \bar{K} de chaque groupe ne seraient plus directement comparables : l'onde de variation journalière serait d'autant plus étalée que la dispersion en longitude des observatoires dans le groupe est plus grande. A ce point de vue, les remarques suivantes peuvent être faites.

Cette dispersion est ordinairement inférieure à une heure de longitude, sauf pour le groupe G_2^s où elle atteint presque 3 heures et le groupe G_2^g où elle dépasse 4 heures. Dans ce dernier cas, on aurait pu se contenter d'un groupe formé de Toolangi et Amberley (2 heures de longitude) ; cependant l'intensité de l'activité à Amberley semble être anormalement faible par rapport à Toolangi, ceci étant probablement dû à des courants induits anormaux. Adjoindre Gngangara au groupe permet d'espérer que le niveau de l'activité sera plus exactement mesuré dans ce secteur de longitude. Garder Amberley a l'avantage d'obtenir des informations sur l'activité à partir d'un observatoire qui est au bord du grand intervalle de longitude entre l'Australasie et l'Amérique du Sud. Par le fait que les 3 observatoires de ce groupe sont à peu près équidistants en longitude les uns des autres, la variation journalière en temps local des \bar{K} de ce secteur n'est que très peu déformée malgré la dispersion en longitude des trois observatoires. Dans le cas du groupe G_2^s (Kerguelen et Hermanus), cette variation journalière en temps local des \bar{K} présente certainement une légère distorsion ; l'installation d'un observatoire aux îles Crozet, situées à peu près à égale distance de Kerguelen et d'Hermanus en longitude et en latitude, présenterait un intérêt certain, pour améliorer la mesure de l'activité dans ce région.

the distance to the auroral zone. The values K_c of table 1 have been computed from these L_c 's.

The local time daily variation of the activity is one of its outstanding features (cf. § 2.3) ; now, if the dispersion in longitude of the observatories in each group differs greatly, the local time daily variations of the activity, as measured by the \bar{K} indices in each longitude sector, would not be directly comparable : the daily variation wave would be all the more spread out as the longitude scattering of the observatories in a group is larger. From this point of view, we can set forth the following remarks.

The dispersion is usually less than one hour of longitude, except for the G_2^s group (where it reaches almost three hours) and for the G_2^g group (where it exceeds four hours). In the latter case, one could choose a group made up from Toolangi and Amberley (two hours in longitude) ; however the activity intensity at Amberley seems to be abnormally weak in relation to Toolangi, probably because of abnormal induced currents. To join Gngangara to this group permits us to hope that the level of activity will be more exactly measured in this longitude sector ; to keep Amberley has the advantage of obtaining information about the activity from an observatory which is on the edge of the very wide longitude interval between Australasia and South America. Since the three observatories of this group are equally distributed in longitude, the local time daily variation of the \bar{K} indices of this sector is practically little distorted in spite of the longitude dispersion of the three observatories. In the case of group G_2^s (Kerguelen and Hermanus), the local time daily variation of the \bar{K} indices will certainly be a little distorted ; the setting up of an observatory at Crozet Islands, approximately equi-distant from Kerguelen and from Hermanus in longitude and in latitude, would have an unquestionable advantage for improving the measure of the activity in this sector.

ANNEXE D

EXEMPLES D'ECARTS-TYPES

Les tableaux ci-dessous donnent quelques exemples arbitraires (D1) ou réels (D2) de groupes d'indices \bar{k} tri-horaires et les valeurs correspondantes de l'écart-type σ ou des indices σn et σs (c'est-à-dire six fois σ). L'intérêt des exemples arbitraires est uniquement d'illustrer de façon plus claire quelles sont les différences entre les indices \bar{k} d'un intervalle tri-horaire qui conduisent à telle ou telle valeur de σn (ou σs). On notera qu'un groupement tel que (0,0,1,1,0) aurait le même écart-type que le groupement (0,1,1,1,0) ou encore que le groupement (4,4,5,5,4). Cependant, dans le cas des exemples réels, nous avons, à dessein, choisi pour chaque valeur de σn (ou σs) supérieure à l'unité, deux intervalles tri-horaires dont le niveau d'activité était assez différent. On pourra encore se reporter à une étude plus détaillée faite antérieurement⁽¹⁾, montrant quelle est, pour un échantillon de 3 années, la distribution des σn et σs (à noter cependant que les écarts-types, dans cette étude, étaient multipliés par un facteur 5, au lieu de 6).

EXAMPLES OF STANDARD DEVIATION

Tables D1 and D2 give some arbitrary or true examples of groups of three-hourly indices \bar{k} and the corresponding values of the standard deviation σ or of indices σn and σs (that is to say six times σ). Arbitrary examples have the advantage of illustrating more clearly what are the differences between the \bar{k} indices of a three-hourly interval which give such and such values for σn (or σs). Note that a group such as (0,0,1,1,0) has the same standard deviation as the group (0,1,1,1,0) or even the group (4,4,5,5,4). However, in the case of the true examples, we have intentionally chosen for each value of σn (or σs) two three-hourly intervals whose level of activity was quite different. Moreover, the reader is referred to a more detailed study⁽¹⁾, which shows, for a three year sample, the distribution of σn 's and σs 's (note however that the standard deviations have been multiplied in this case by a factor 5 instead of by a factor 6).

Tableau D1

		\bar{k}		σ		σn		\bar{k}		σ		σs	
0	0	1	0	0	0.40	2		0	1	0	0.47	3	
0	0	2	0	0	0.80	5		0	2	0	0.94	6	
0	0	3	0	0	1.20	7		0	3	0	1.41	8	
0	0	4	0	0	1.60	10		0	4	0	1.89	11	
0	1	1	1	0	0.49	3							
0	2	2	2	0	0.98	6							
0	3	3	3	0	1.47	9							
0	4	4	4	0	1.96	12							
0	1	2	0	0	0.80	5		0	1	2	0.82	5	
0	1	3	2	0	1.17	7		0	1	3	1.25	8	
0	1	4	3	2	1.41	8		0	1	4	1.70	10	
0	1	3	3	0	1.36	8							
0	1	5	3	0	1.94	12							

(1) Annales de Géophysique, 23 (1967) p. 616-617.

Tableau D2

		\bar{K}		σ		σn		\bar{K}		σ		σn	
5.0	4.5	4.5	5.0	4.7	0.22	1	4.7	4.8	5.0	0.12	1		
2.0	2.2	1.8	1.0	0.7	0.59	4	0.6	0.5	2.0	0.68	4		
4.0	4.2	4.1	5.0	5.7	0.65	4	3.7	5.3	5.0	0.69	4		
1.0	2.9	3.4	2.0	0.7	1.04	6	1.3	0.8	3.0	0.94	6		
5.0	4.9	3.8	3.0	5.7	0.96	6	3.0	2.8	5.0	0.91	6		
4.3	3.9	0.9	1.8	2.0	1.31	8	3.7	2.8	6.0	1.35	8		
4.5	5.5	7.8	7.8	6.0	1.31	8	4.0	3.7	1.0	1.39	8		

ANNEXE E

TRANSFORMATION DES \bar{K}
EN AMPLITUDES \bar{a}

Les indices \bar{K} sont obtenus par la moyenne, pour chaque groupe d'observatoires, des indices K_c . Ceux-ci, puisqu'ils sont le résultat de la standardisation en latitude, sont rapportés à une même unité à l'aide de la limite inférieure L_c , elle-même fonction de la distance de chaque observatoire à la zone aurorale.

Le principe de la transformation des \bar{K} en amplitudes équivalentes \bar{a} découle directement du procédé utilisé pour la transformation des K en K_c (cf. appendice B), par lequel une amplitude équivalente est associée à chaque valeur de K_c (et donc de \bar{K}). Il reste seulement à fixer la limite supérieure pour $\bar{K} = 9$ de l'échelle des amplitudes \bar{a} . Les raisons du choix d'une valeur $L = 500$ gammas ont été indiquées (cf. § 2.5) : cette valeur est celle qui a servi de référence lors de la standardisation en latitude ; elle correspond en gros à la limite inférieure qui est celle convenable pour la plupart des observatoires choisis pour constituer le réseau.

La classe $K = 0$ nécessite cependant un traitement spécial. En effet, selon la transformation indiquée ci-dessus, les $\bar{K} = 0.0$ correspondraient à une amplitude $\bar{a} = 2.5$ gammas, qui serait donc la limite inférieure des valeurs des an , as et am .

Or les indices $K = 0$, tels qu'ils sont mesurés sur les enregistrements, correspondent à des amplitudes tri-horaires a qui varient entre une valeur presque

TRANSFORMATION OF \bar{K} 's
INTO AMPLITUDES \bar{a}

\bar{K} indices are obtained as the mean of K_c indices for each group of observatories. The K_c indices, since they are the result of the latitude standardisation, are referred to the same unit by means of the lower limit L_c , which is itself a function of the distance between each observatory and the auroral zone.

The method of transformation of \bar{K} 's into amplitudes \bar{a} directly follows from the process used for the transformation of the K 's into K_c (cf. appendix B), by which an equivalent amplitude is connected to each value of K_c (and, therefore, of \bar{K}). However the lower limit for $\bar{K} = 9$ of the scale of amplitudes \bar{a} has to be fixed. Reasons for the choice of a value $L = 500$ gammas have been given (cf. § 2.5) : such a value is the one used as a reference for the latitude standardization ; it corresponds roughly to the lower limit suitable for the majority of the observatories making up the network used.

The class $K = 0$ needs however a special treatment. Indeed, according to the transformation indicated above, the $\bar{K} = 0.0$ would correspond to an amplitude $\bar{a} = 2.5$ gammas, which would be the lower limit of the values of an 's, as 's or am 's.

Now the indices $K = 0$, such as they are measured on the records, correspond to three-hourly amplitudes a which vary

nulle⁽¹⁾ et la valeur égale à celle de la limite supérieure de cette classe ; les indices a_n , a_s ou a_m ne seraient donc pas sensibles à toute la gamme de variation des amplitudes a .

Ceci présente apparemment un inconvénient que nous éliminerons en nous basant sur le raisonnement suivant. Lors des mesures elles-mêmes, la discrimination entre les indices $K = 0$ et $K = 1$ est difficile et leur détermination est soumise à une beaucoup plus grande subjectivité que pour les autres indices⁽²⁾. Mais, au point de vue d'une mesure du niveau moyen de l'activité dans un hémisphère, on peut affirmer que, si une valeur $K = 0$ est mesurée dans tous les observatoires d'un groupe, le niveau de l'activité est réellement assez bas dans le secteur de longitude correspondant ; à fortiori, ce niveau est encore plus bas si $K = 0$ est mesuré dans tous les observatoires de tous les groupes. Par contre, si $K = 1$ est mesuré dans certains observatoires d'un groupe donné (ou dans ceux d'autres groupes), ceci est significatif de la présence d'une certaine activité. Finalement, à ce point de vue d'une mesure globale du niveau de l'activité, la distribution relative des $K = 0$ et $K = 1$ mesurés dans l'ensemble des observatoires semble être assez significative.

Dans ces conditions, nous avons adopté la solution suivante. Les indices $K = 0$ et $K = 1$, dont les limites inférieure et supérieure, dans l'échelle des indices \bar{K} choisie, sont respectivement égales à 0 et 5 et à 5 et 10, sont considérés comme appartenant à une seule classe. Une valeur $\bar{a} = 0$ (au lieu de 2.5) est attribuée à l'indice $\bar{K} = 0.0$, et $\bar{a} = 10$, à l'indice $\bar{K} = 1.5$; aux indices $\bar{K} = 0.1$ à 1.4, sont attribuées des valeurs variant linéairement entre 0 et 10 (le tableau 2 donne la table de correspondance ainsi établie entre \bar{K} et \bar{a} pour ces valeurs et pour les suivantes).

Ce choix, qui repose essentiellement sur la distribution des $K = 0$ et $K = 1$ mesurés aux observatoires, permet de penser que les faibles valeurs de a_n , a_s et a_m seront assez représentatives du niveau plus ou moins bas de l'activité.

between a nearly null value⁽¹⁾ and the value equal to the upper limit of the class : the indices a_n and a_s would not be sensitive to all the range of variation of the amplitudes a .

This apparently presents a drawback which we shall eliminate by means of a process based on the following argument. When measuring K indices, the discrimination between $K = 0$ and $K = 1$ is difficult and their determination is liable to a much greater subjectivity than that of the other indices⁽²⁾. But, from the point of view of a measure of the mean level of the activity in one hemisphere, one can assert that, if a value $K = 0$ is measured in all observatories of all groups, the level of the activity is really rather low in the corresponding longitude sector ; a fortiori, this level is still lower if $K = 0$ is measured in all observatories of all groups. Conversely, if $K = 1$ is measured in some observatories of a given group (or in those of other groups), this is indicative of the existence of a certain activity. Finally from the point of view of a global measure of the activity level, the distribution of $K = 0$ and $K = 1$ measured in the whole of the observatories seems to be relatively significant.

In these circumstances, we adopted the following solution. The indices $K = 0$ and $K = 1$, whose lower and upper limits, in the chosen scale of \bar{K} indices, are respectively equal to 0 and 5 and to 5 and 10, are considered as belonging to a single class. The value $\bar{a} = 0$ (instead of 2.5) is attributed to the index $\bar{K} = 0.0$, and $\bar{a} = 10$, to the index $\bar{K} = 1.5$; to indices $\bar{K} = 0.1$ to 1.4, are attributed values linearly varying between 0 and 10 (table 2 gives the corresponding values of \bar{K} and \bar{a} for these values and the following ones).

Such a choice, which is essentially based on the distribution of $K = 0$ and $K = 1$ measured at the observatories, leads us to think that low values of a_n , a_s and a_m will be relatively significant.

(1) La sensibilité des enregistrements sur lesquels les indices K sont mesurés ne permet pas de dire s'il existe des intervalles tri-horaires où l'amplitude de l'activité est rigoureusement nulle. On peut cependant affirmer qu'il arrive que cette amplitude soit nettement inférieure à un gamma.

(1) The sensitivity of the records on which the K indices are measured does not permit one to say whether there exist some three hourly intervals during which the amplitude of the activity is strictly null. However one may assert that this amplitude can be clearly lower than one gamma.

(2) IAGA Bulletin N° 21, (1967), Atlas des Indices K , p. 10-11

ANNEXE F

PONDERATION EN LONGITUDE

Le moment auquel se produisent les perturbations magnétiques dépend essentiellement de l'orientation des lignes de force du champ terrestre par rapport au Soleil. En conséquence, un système de coordonnées magnétiques semble meilleur que le système de coordonnées géographiques pour définir la longitude des observatoires.

La longitude magnétique des divers observatoires a été déterminée dans le système de coordonnées décrit dans l'annexe A, et la moyenne des longitudes des observatoires de chaque groupe a été arrondie à 5°. Le tableau F1 donne la longitude Λ de chaque groupe et la largeur $\Delta\Lambda$ de la bande de longitudes comprises entre les deux groupes situés de part et d'autre.

WEIGHTING IN LONGITUDE

The time at which magnetic perturbations occur depends essentially on the orientation of the lines of force of the terrestrial magnetic field with regard to the Sun. Consequently, a magnetic coordinate system seems more suitable than the geographical coordinate system for defining the longitude of the observatories.

The magnetic longitude of the observatories was determined by means of the coordinate system described in appendix A, and the mean longitude of the observatories of each group was rounded to 5°. Table F1 gives the longitude Λ of each group and the width $\Delta\Lambda$ of the longitude band demarcated by the longitude of the two groups located on each side.

Tableau F1

	G_1^n	G_2^n	G_3^n	G_4^n	G_5^n	G_1^s	G_2^s	G_3^s
Λ	210°E	145°E	85°E	350°E	305°E	220°E	105°E	15°E
$\Delta\Lambda$	160°	125°	155°	140°	140°	270°	205°	245°
λ_i	1.111	0.868	1.076	0.973	0.973	1.125	0.854	1.021

Si la distribution en longitude des groupes était absolument uniforme, on devrait avoir une largeur $\Delta\Lambda$ égale à 144° dans l'hémisphère Nord et égale à 240° dans l'hémisphère Sud. La dernière ligne du tableau F1 donne les rapports λ_i de la largeur de chaque secteur à la largeur idéale : les écarts à l'unité mesurent l'imperfection de la distribution des groupes.

Afin de mieux approcher une distribution uniforme, une pondération en longitude est effectuée ; elle consiste à multiplier chaque amplitude \bar{a} par le facteur λ_i (voir figure 1) du tableau F1. Dans le tableau 3, nous donnons les valeurs $\lambda_i / \Sigma\lambda_i$ par lesquelles sont multipliées les amplitudes \bar{a} pour obtenir les amplitudes $a\bar{a}$ etas, moyennes des amplitudes \bar{a} pondérées.

La pondération décrite repose sur un raisonnement simple. Il peut être intéressant de préciser l'ordre de grandeur de son influence, en rappelant quelques résultats acquis antérieurement(1). Lors du calcul préliminaire de tels indices,

If the longitude distribution of the groups were absolutely uniform, one would have a width $\Delta\Lambda$ of 144° in the Northern and of 240° in the Southern hemisphere. The last line of table F1 gives the ratios λ_i of the width of each sector to this ideal width ; the departures from unity, measure the imperfection of the longitude distribution of the groups.

In order better to reach an uniform distribution, a longitude weighting is carried out ; it consists of multiplying each amplitude \bar{a} by the λ_i factor of table F1 (see figure 1). In table 3, we give the values $\lambda_i / \Sigma\lambda_i$ by which are multiplied the amplitudes \bar{a} for obtaining amplitudes $a\bar{a}$ and as, the means of the weighted amplitudes \bar{a} .

The weighting described above is based on a simple argument. It is interesting to specify the order of magnitude of its influence, by recalling some results previously obtained(1). In a preliminary computation of such indices, we used a si-

(1) Ann. Géoph., 23 (1967), p. 605-607.

nous avons utilisé une pondération analogue et lui avons comparé deux autres types de pondération, l'une qui attribuait artificiellement un poids double à l'un des groupes de l'hémisphère Nord, l'autre qui supprimait toute pondération entre les différents groupes de l'hémisphère Sud. Dans l'un ou l'autre cas, les différences obtenues étaient relativement faibles par rapport à l'amplitude de la variation journalière des indices. Dans le premier cas, ceci montre que même une pondération artificiellement fautive ne modifie pas beaucoup les résultats ; dans le second, où les différences sont d'ailleurs plus faibles que dans le premier, il apparaît que ne pas utiliser de pondération en longitude n'affecterait pas grandement les résultats. Cependant, maintenir dans le calcul des indices la pondération décrite semble logique et doit améliorer les résultats.

milar weighting and compared it to two other types of weighting : in one of them, a double weight was artificially given to one of the Northern groups ; in the other, any relative weighting between different groups was suppressed for the Southern hemisphere. In both cases, the differences obtained were relatively weak in comparison with the amplitude of the daily variation of indices. In the first case, this shows that even an artificially wrong weighting does not modify the results to any great extent ; from the second (where the differences are smaller than in the first), it appears that not to use longitude weighting does not affect much the results. However, to retain such a weighting in the computation seems logical and must improve the results.

ANNEXE G

DETERMINATION DES K_n , K_s ET K_m ET POIDS DE TRANSFORMATION

La détermination des K_n , K_s et K_m , à partir des amplitudes a_n , a_s et a_m , est analogue à celle des indices K à partir des amplitudes tri-horaires a : elle consiste à déterminer la classe d'amplitudes à laquelle appartient une amplitude. La limite inférieure choisie pour $K = 9$ est évidemment celle qui a été utilisée pour la transformation des \bar{K} en \bar{a} , soit 500 gammas.

De même que pour les indices K_p , nous avons adopté une échelle plus fine (de tiers en tiers d'unité) pour les K_n , K_s et K_m . La division correspondante en sous-classes est analogue à celle utilisée pour les indices K_p . La transformation de ceux-ci en ap est faite à l'aide de poids qui correspondent à l'amplitude du milieu de sous-classes, elles-mêmes définies par la division en trois parties égales de chaque classe correspondant à une valeur entière de K dans l'échelle normale à 10 degrés. Chaque telle classe a donc été divisée en trois parties égales (ainsi, par exemple, les indices 6_1 , 6_0 et 6 , correspondent aux trois tiers successifs de la classe $K = 6$). Certaines classes soulèvent cependant des problèmes particuliers.

1/ Classe 9 ou classes 9₁ et 9₀

Nous gardons ici les mêmes notations que J. BARTELS, c'est-à-dire seulement

DETERMINATION OF K_n , K_s AND K_m AND TRANSFORMATION WEIGHTS

The determination of K_n , K_s or K_m , from the amplitudes a_n , a_s or a_m , is analogous to that of K indices from the three-hourly amplitudes a : it consists in determining the amplitude class to which an amplitude belongs. The lower limit adopted for $K = 9$ is clearly that used when transforming \bar{K} 's into \bar{a} 's, that is to say 500 gammas.

In the same way as for the K_p indices, a finer scale (in steps of a third of a unit) was adopted for K_n , K_s and K_m indices. The corresponding division into sub-classes is analogous to that used for the K_p indices. The transformation of K_p 's into ap 's is made by means of weights which correspond to the amplitude at the middle of the sub-classes, defined by the division, into three equal parts, of each class corresponding to an integer K of the normal scale with ten steps. Each amplitude class was therefore divided into three equal parts (thus, for instance, indices 6_1 , 6_0 and 6 , correspond to the three successive thirds of the class $K = 6$). However, some classes raise particular problems.

1/ Class 9 or classes 9₁ and 9₀

We keep here the same notations as J. BARTELS, that is to say only an in-

un indice $9_$ et un indice 9_0 . L'indice $9_$, comme ses homologues des classes précédentes, correspond au 1er tiers de la classe d'amplitudes $K = 9$ que nous avons définie dans l'annexe B. Par contre, l'indice 9_0 , puisqu'il n'y a pas d'indice supérieur, correspond naturellement à une classe qui a seulement une limite inférieure (égale à la limite supérieure de la classe $9_$.)

2/ Classe 0 et 1 ou classes $0_0, 0_1, 1_1$ et 1_0

Gardant encore les mêmes notations que J. BARTELS, nous avons seulement un indice 0_0 et un indice 0_1 . Etant donné que pour la transformation des \bar{K} en \bar{a} , nous avons introduit une variation linéaire dans les classes $K = 0$ et $K = 1$, avec \bar{K} variant de 0,0 à 1,5, il est logique de diviser ces deux classes en 5 parties égales, qui correspondront aux indices $0_0, 0_1, 1_1, 1_0$ et 1_1 .

Le tableau G1 donne, entre parenthèses, les valeurs successives des limites supérieures l'_i des classes d'indices Kn, Ks ou Km lorsque l'échelle de limite inférieure 500 pour $K = 9$ est divisée selon que nous l'avons indiqué ci-dessus. De telles limites présentent des inconvénients.

dex $9_$ and an index 9_0 . The index $9_$, as its homologues of the preceding classes, corresponds to the first third of the amplitude class $K = 9$ such as we defined it in appendix B. But, the index 9_0 , since there is no higher index, corresponds to a class which has only a lower limit (equal to the upper limit of the class $9_$).

2/ Classes 0 or 1 and classes $0_0, 0_1, 1_1$ or 1_0

We also keep the same notations as J. BARTELS and consequently we have only an index 0_0 and an index 0_1 . Since we have introduced a linear variation in the classes $K = 0$ and $K = 1$ (with \bar{K} varying from 0,0 to 1,5) when transforming the \bar{K} 's into \bar{a} 's, it is logical to divide these two classes in five equal parts, which will then correspond to the indices $0_0, 0_1, 1_1, 1_0$ and 1_1 .

Table G1 gives, in brackets, the successive values of the upper limits l'_i of the index classes Kn, Ks and Km when the scale with lower limit $L = 500$ gammas for $K = 9$ is divided as indicated above. Some drawbacks result from such limits.

Tableau G1

	0_0	0_1	1_1	1_0	1_1	2_1	2_0	2_1	3_1
l'_i (γ)	(2.00)	(4.00)	(6.00)	(8.00)	(10.00)	(13.33)	(16.67)	(20.00)	(26.67)
l_i (γ)	1.4	3.4	5.4	7.4	10.4	13.4	16.4	20.4	26.4
n	2	2	2	2	4	3	3	4	6
	3_0	3_1	4_1	4_0	4_1	5_1	5_0	5_1	6_1
l'_i (γ)	(33.33)	(40.00)	(50.00)	(60.00)	(70.00)	(86.67)	(103.33)	(120.00)	(146.67)
l_i (γ)	33.4	40.4	50.4	60.4	70.4	86.4	103.4	120.4	146.4
n	7	7	10	10	10	16	17	17	26
	6_0	6_1	7_1	7_0	7_1	8_1	8_0	8_1	9_1
l'_i (γ)	(173.33)	(200.00)	(243.33)	(286.67)	(330.00)	(386.67)	(443.33)	(500.00)	(611.00)
l_i (γ)	173.4	200.4	243.4	286.4	330.4	386.4	443.4	500.4	611.4
n	27	27	43	43	44	56	57	57	111

En effet, les indices an , as et am sont arrondis à l'unité. Supposons alors que la valeur de Kn est déterminée par la condition $an < l'_i$. Les premières classes 0_0 à 1_1 comprendront chacune deux amplitudes possibles (0 et 1, 2 et 3, etc...); la classe 2_1 en comprendra quatre (10, 11, 12, 13) et les classes 2_0 et 2_1 seulement trois (14, 15 et 16; 17, 18 et 19); puis les classes $3_1, 3_0$ et 3_1 en comprendront respectivement sept, sept et six. Cette progression non régulière du nombre d'amplitudes comprises dans chaque

Indeed, the an, as and am indices are rounded to an integer. Let us then suppose that the value of Kn is determined by the condition $an < l'_i$. Each of the first classes 0_0 to 1_1 will include two possible amplitudes (0 and 1, 2 and 3, etc...); the class 2_1 will include four (10, 11, 12, 13) and the classes 2_0 and 2_1 , only three each (14, 15 and 16; 17, 18 and 19); then the classes $3_1, 3_0$ and 3_1 will include respectively seven, seven and six amplitudes. This irregular progression of the number of amplitudes included in each class can

classe peut avoir un inconvénient lors d'une analyse des distributions de fréquence des indices. D'autre part, considérons une amplitude an qui, au cours du calcul et avant l'arrondissement à l'unité, avait une valeur 16.5 ; après arrondissement, elle prendra la valeur 17 et sera rangée dans la classe 2, au lieu de 2_0 . Si la détermination de la classe d'amplitudes est faite avant l'arrondissement, Kn sera bien égal à 2_0 , mais une contradiction apparaîtra entre cette valeur de Kn et l'amplitude an , égale à 17 après l'arrondissement. Pour éviter ces inconvénients, les limites retenues sont les limites l_i du tableau G1 (la condition du choix de Kn étant $an < l_i$). Le calcul des an , as et am est fait avec une décimale pour les tableaux journaliers détaillés que nous décrivons ci-dessous (voir figure 2, p. 51) ; dans les tableaux mensuels, leurs valeurs sont données après arrondissement à l'unité. Il résulte du choix précédent que les an , as ou am , avant ou après arrondissement à l'unité, correspondent aux mêmes Kn , Ks ou Km . D'autre part, la dernière ligne du tableau G1 indique le nombre d'amplitudes possibles comprises dans chaque classe ; ce nombre croît à peu près régulièrement. Enfin les écarts des limites l_i aux limites l'_i sont faibles : de 1_+ à 9_- , la limite est déplacée de + 0.4 par rapport aux l'_i qui correspondaient à une valeur ronde en gammas, de + 0.07 ou - 0.27 pour les autres. Entre 0_0 et 1_+ , la classe 0_0 est plus petite que les suivantes bien qu'ayant un nombre identique d'amplitudes possibles ; la classe 1_+ est plus grande.

Le tableau G2 donne les poids de transformation p que l'on pourrait utiliser si l'on veut retransformer les Kn , Ks et Km en amplitudes équivalentes en gammas. Ceux-ci correspondent à la moyenne des amplitudes (arrondies à l'unité) appartenant à chaque classe.

Un premier sondage sur l'utilisation de tels poids a montré que les amplitudes moyennes mensuelles (par conséquent, moyenne d'environ 240 indices) obtenues soit par les indices Kn ou Ks après transformation, soit directement par les indices an ou as , ne différaient que de - 0.10 à 0.20 gammas. Ces différences sont assez faibles pour que l'usage de tels poids soit tout à fait justifié.

Le tableau G2 donne également des poids $2p_B$; les poids p_B sont ceux utilisés pour le passage des Kp aux ap . Nous les donnons en les multipliant par un facteur 2, puisque la limite inférieure pour $K = 9$ de l'échelle de transformation est, dans ce cas, égale à 250(1). Les poids p et

be inconvenient when analysing frequency distributions of the indices. On the other hand, let us consider an amplitude an which, before rounding, had a value 16.5 ; after rounding, it will take the value 17 and the value of Kn will be 2, instead of 2_0 . If the determination of the amplitude class is made before rounding, Kn will be equal to 2_0 but a contradiction will appear between this value of Kn and the value of an , equal to 17 after rounding. In order to avoid such drawbacks, the limits adopted are the limits l_i of table G1 (the condition for the choice of Kn being $an < l_i$). The computation of the amplitudes an , as and am is made with one decimal for the detailed daily tables which we shall describe later (see figure 2, p. 51) ; in the monthly tables, their values are given as integers. Then, with the preceding choice, the indices an , as and am will correspond to the same Kn , Ks and Km . The last line of table G1 gives the number n of possible amplitudes included in each class ; this number increases in a nearly regular way. Finally, the differences between l'_i and l_i limits are small ; from 1_+ to 9_- , the limit is shifted by 0.4 for integral values of l'_i and by + 0.07 or - 0.27 for the others. Between 0_0 and 1_+ , the class 0_0 is narrower than the following classes although its number of possible amplitudes is the same ; the class 1_+ is wider.

Table G2 gives the transformation weights p which one could use if it was desired to transform the indices Kn , Ks and Km back into equivalent amplitudes in gammas. They correspond to the mean of the integral amplitudes belonging to each class.

A first test of the use of such weights showed that the monthly mean amplitudes (consequently, an average of about 240 indices) obtained either by indices Kn or Ks after transformation, or directly by indices an or as , differ by only - 0.10 to + 0.20 gammas. Such differences are sufficiently small to justify the use of these weights.

Table G2 also gives weights $2p_B$; the weights p_B are those used for transforming Kp 's into ap 's. We give them multiplied by two, since the lower limit for $K = 9$ of the transformation scale is, in that case, equal to 250(1). The weights p

(1) cf. Introduction des IAGA Bulletins 12.

$2p_B$ sont ainsi directement comparables puisqu'ils correspondent les uns et les autres à une limite inférieure de 500 gammas pour $K = 9$. On voit qu'ils sont en général pratiquement identiques, sauf pour les premières valeurs (0_0 à 1_+) où les poids p ont une progression plus régulière, et pour les dernières (9_- et 9_0) où ils ont une valeur plus faible (les motifs du choix retenu sont exposés dans l'annexe B).

and $2p_B$ are thus directly comparable since both series correspond to a lower limit of 500 gammas for $K = 9$. In general, they are practically identical, except for the first values (0_0 to 1_+) where the weights p have a more regular progression, and for the last values (9_- and 9_0) where they are smaller (reasons for the choice retained are set forth in appendix B).

Tableau G2

	0_0	0_+	1_-	1_0	1_+	2_-	2_0	2_+	3_-	
p	0.5	2.5	4.5	6.5	9.0	12.0	15.0	18.5	23.5	
$2p_B$	0	4	6	8	10	12	14	18	24	
	3_0	3_+	4_-	4_0	4_+	5_-	5_0	5_+	6_-	
p	30.0	37.0	45.5	55.5	65.5	78.5	95.0	112.0	133.5	
$2p_B$	30	36	44	54	64	78	96	112	134	
	6_0	6_+	7_-	7_0	7_+	8_-	8_0	8_+	9_-	9_0
p	160.0	187.0	222.0	265.0	308.5	358.0	415.0	472.0	556.0	667.0
$2p_B$	160	188	222	264	308	358	414	472	600	800

Il en résulte, en tout cas, qu'une comparaison directe entre l'indice ap et les indices an , as et am peut être faite immédiatement en multipliant par 2 la valeur de ap . Nous avons indiqué antérieurement⁽¹⁾ la raison pour laquelle il semble préférable de maintenir cette différence entre les échelles des ap et an , as ou am : ces derniers sont systématiquement plus faibles que les ap et, avec une échelle de base 250 gammas, la gamme des amplitudes serait trop étroite.

In any case, a direct comparison between the index ap and the indices an , as and am can be made by multiplying by two the value of ap . We indicated previously⁽¹⁾ the reason for which it seemed preferable to maintain such a difference between the scales of ap 's and an 's, as 's or am 's : the latter are systematically smaller than the former and, with a scale of 250 gammas, the range of the amplitudes would have been too narrow.

(1) Ann. Geoph. 23 (1967), p. 616.