

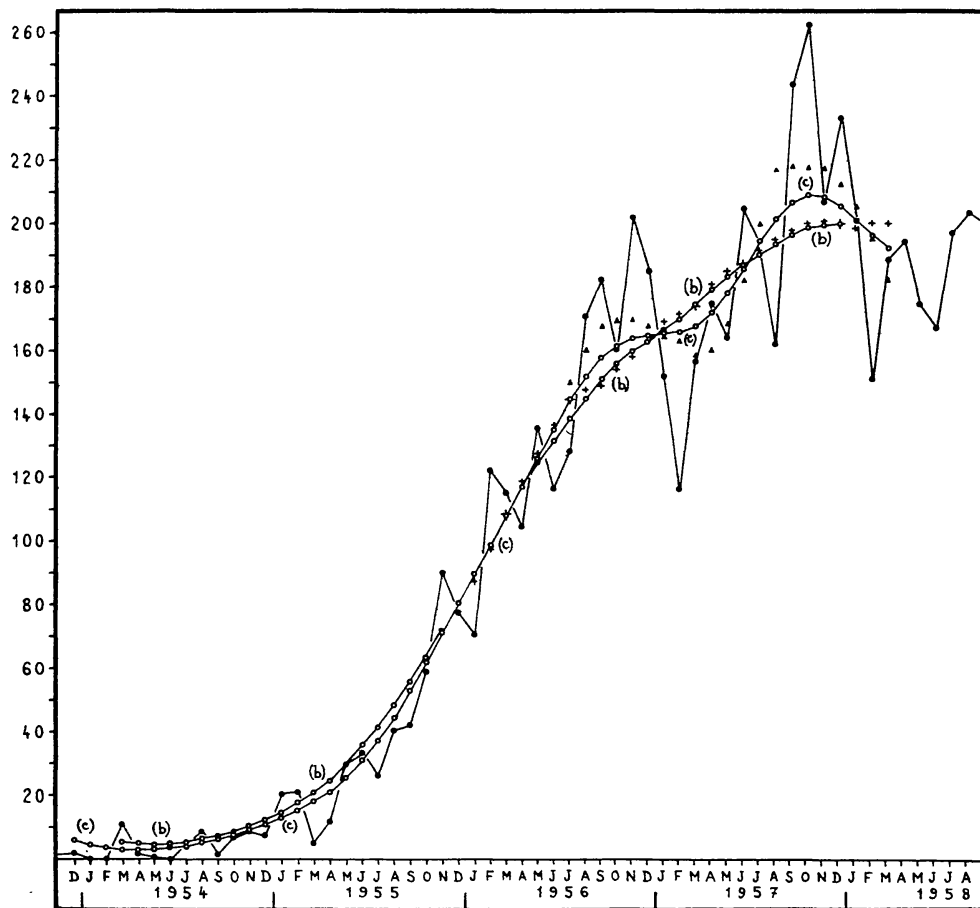
523.746.5

UNE FORMULE D'ADOUCCISSEMENT POUR L'ACTIVITE SOLAIRE

par Jean MEEUS

Résumé. — L'auteur propose une nouvelle formule pour calculer les moyennes « adoucies » de l'activité solaire.

La Table ci-après donne, dans la colonne N_i , les valeurs provisoires du nombre de Wolf communiquées par l'Observatoire de Zürich pour les mois de juin 1953 à septembre 1958. Ces moyennes mensuelles sont reportées dans la figure.



Cette courbe est fort découpée et, afin de mettre en évidence les fluctuations lentes de l'activité solaire moyenne, il y a lieu de calculer une moyenne « adoucie ». Dans ce but, Waldmeier procède comme suit : on prend les moyennes de 12 mois consécutifs, et la moyenne de deux de ces

moyennes consécutives est prise comme moyenne adoucie du mois central. En d'autres mots, si (1), (2), (3),... sont les valeurs mensuelles pour les mois numérotés 1, 2, 3,..., et si [1], [2], [3],... sont les valeurs adoucies, on a selon Waldmeier :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{(1) + (2) + \dots + (12)}{12} \\
 B &= \frac{(2) + (3) + \dots + (13)}{12} \\
 C &= \frac{(3) + (4) + \dots + (14)}{12} \quad \text{etc...} \\
 [7] &= \frac{A + B}{2} \\
 [8] &= \frac{B + C}{2} \quad \text{etc...}
 \end{aligned} \tag{a}$$

Les moyennes adoucies ainsi calculées sont reportées dans la Table (colonne (a)) et dans la figure à partir de janvier 1956 (petites croix).

La méthode de Waldmeier revient presque à prendre la moyenne de 13 mois consécutifs, en donnant à tous le même poids, dans l'hypothèse que les termes extrêmes (1) et (13) ne sont pas anormalement écartés de la valeur moyenne :

$$[7] \approx \frac{(1) + (2) + \dots + (13)}{13}$$

En outre, la courbe obtenue n'est pas encore suffisamment régulière, ainsi qu'il apparaît par l'examen des différences premières dans la colonne (a). Il en résulte, par exemple, que l'instant du maximum n'est pas bien marqué, puisque nous trouvons un maximum en novembre 1957 et un autre en février 1958.

Il y aurait donc lieu de trouver une méthode meilleure. Nous avons d'abord essayé la formule d'adoucisement

$$\bar{N}_i = \frac{1}{100} (10 N_i + 9 N_{i+1} + 8 N_{i+2} + \dots + N_{i+9}) \tag{b}$$

où N_i est le nombre de Wolf moyen du mois d'indice i , et \bar{N}_i la moyenne adoucie. L'expression $9 N_{i+1}$ signifie $9 N_{i+1} + 9 N_{i-1}$, et ainsi de suite.

Cette formule porte sur 19 mois consécutifs, et il est donné un poids plus grand aux mois centraux. La somme des poids vaut

$$10 + 9 + 9 + 8 + 8 + \dots + 1 + 1 = 100;$$

d'où la fraction 1 : 100 dans le second membre.

Les moyennes adoucies, obtenues par la formule (b), sont reproduites dans la colonne (b) de la Table, ainsi que dans la figure (courbe (b)). Nous obtenons cette fois une courbe très régulière : les différences premières ne « sautent » plus. Il y a cependant un inconvénient : la moyenne adoucie porte sur un nombre trop grand de mois, ce qui fait que la courbe obtenue n'épouse pas assez les variations de l'activité solaire moyenne. Ainsi, vers le minimum de 1954 la courbe adoucie se trouve trop haut : de septembre à décembre 1954, ainsi que de mars à octobre 1955, on a $\bar{N}_i > N_i$. De même, d'août à décembre 1956 elle se trouve plus bas que la courbe mensuelle, et pendant les cinq mois suivants plus haut.

Pour y remédier, nous avons choisi une autre formule, du même genre que (b), mais portant sur 13 mois au lieu de 19 :

$$\bar{N}_i = \frac{1}{81} (11 N_i + 10 N_{i\pm 1} + 9 N_{i\pm 2} + 7 N_{i\pm 3} + 5 N_{i\pm 4} + 3 N_{i\pm 5} + N_{i\pm 6}) \quad (c)$$

Cette dernière formule donne des résultats très satisfaisants : voir les valeurs (c) dans la Table et dans la figure. La courbe obtenue épouse beaucoup mieux l'allure des valeurs mensuelles, tout en étant très régulière. Ainsi, le ralentissement de l'activité solaire à la fin de 1956 est bien mis en évidence, tandis qu'il n'y a qu'un point d'inflexion à peine marqué sur la courbe (b), et qu'il n'apparaît pas du tout avec la méthode de Waldmeier.

Enfin, à titre de comparaison, nous avons utilisé (valeurs (d) dans la Table, et petits triangles dans la figure) la formule d'adoucisement

$$\bar{N}_i = (1 : 143) \times (25 N_i + 24 N_{i\pm 1} + 21 N_{i\pm 2} + 16 N_{i\pm 3} + 9 N_{i\pm 4} + 0 N_{i\pm 5} - 11 N_{i\pm 6}), \quad (d)$$

formule basée sur l'approximation par polynômes du troisième degré à l'aide des moindres carrés (*). Comme on voit, les différences premières sautent fortement : la courbe obtenue épouse trop les valeurs mensuelles. Ainsi, elle présente deux minima en 1954 (0,7 en février, 3,1 en juillet) et un maximum secondaire en octobre-novembre 1956.

De ce qui précède il résulte que seule la formule (c) donne, à notre avis, des valeurs satisfaisantes pour la moyenne adoucie.

(*) Voir, par exemple : W. E. MILNE, *Numerical Calculus*, Princeton University Press, page 279 de l'édition de 1949.

NOMBRES DE WOLF, 1953-1958 (moyennes mensuelles et moyennes adoucies)

Mois	N_i	(a)	(b)	(c)	(d)
1953 juin	21,2				
juillet	8,5				
août	23,3				
septembre	18,1				
octobre	7,4				
novembre	1,4				
décembre	1,7	7,1		5,9	4,8
1954 janvier	0,0	6,0		4,6	3,3
février	0,3	5,2		3,7	0,7
mars	10,8	3,9	5,3	3,1	1,4
avril	1,8	3,3	5,1	3,0	2,3
mai	0,7	3,4	4,6	3,3	2,9
juin	0,2	4,0	4,8	3,7	3,5
juillet	4,5	5,0	5,4	4,3	3,1
août	8,1	6,7	6,2	5,4	3,4
septembre	1,2	7,3	7,3	6,4	5,6
octobre	6,8	7,5	8,7	7,6	8,2
novembre	8,7	9,1	10,4	9,1	8,5
décembre	7,3	11,6	12,3	11,0	9,5
1955 janvier	20,0	13,9	14,7	13,0	11,8
février	20,8	16,1	17,7	15,3	13,6
mars	4,7	19,2	21,1	18,0	16,9
avril	11,3	23,0	24,9	21,3	18,7
mai	29,6	28,6	29,9	25,7	20,2
juin	33,1	34,9	36,2	31,1	26,4
juillet	26,0	39,9	41,5	37,2	34,2
août	40,2	46,3	48,4	44,4	39,8
septembre	41,9	55,1	55,7	53,0	50,4
octobre	58,7	63,6	63,6	62,1	61,4
novembre	90,2	71,9	72,1	71,5	69,5
décembre	77,2	79,9	80,7	80,9	82,3

Mois	N_i	(a)	(b)	(c)	(d)
1956 janvier	70,5	87,6	89,7	89,9	93,6
février	122,6	97,3	99,4	99,1	99,4
mars	115,5	108,6	108,4	108,2	106,9
avril	104,5	118,7	117,1	117,2	116,6
mai	136,0	127,7	125,1	126,3	123,0
juin	116,7	136,9	132,3	135,7	136,2
juillet	128,5	144,8	139,3	145,1	150,1
août	171,1	148,0	145,8	152,5	160,5
septembre	182,2	149,4	151,5	158,0	167,2
octobre	160,8	154,1	156,4	162,0	169,7
novembre	202,7	158,3	160,5	164,5	169,7
décembre	185,5	163,2	163,6	165,4	167,7
1957 janvier	152,3	169,6	167,0	166,4	164,8
février	116,8	172,0	170,5	166,7	163,8
mars	157,0	174,2	175,0	168,2	159,0
avril	175,2	181,1	179,8	172,6	160,1
mai	164,8	185,5	183,8	178,7	169,0
juin	205,6	187,7	187,7	186,4	182,3
juillet	194,3	191,9	191,1	195,0	200,5
août	162,6	195,4	194,2	202,3	217,6
septembre	244,3	198,2	197,3	207,4	218,8
octobre	262,9	200,4	199,6	209,6	218,4
novembre	207,3	201,6	200,4	209,0	218,4
décembre	233,9	200,5	200,7	206,3	212,9
1958 janvier	202,8	199,1		201,8	205,9
février	151,6	200,9		197,2	197,0
mars	189,4	200,8		193,0	183,0
avril	195,0				
mai	175,2				
juin	167,9				
juillet	197,7				
août	203,9				
septembre	200,9				