

MOYENNES DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE EN NORVÈGE DU SUD SELON LES SONDAGES PAR AVION A KJELLER EN 1928—1937

PAR ERIK BJÖRKDAL
(Manuscrit reçu le 26 janvier 1939.)

1. Remarques générales.

Les premiers sondages par avion en Norvège étaient organisés par *Calwagen* en 1923—25. A cette époque la technique de ces sondages était encore peu développée. En conséquence, *Calwagen* s'est efforcé de trouver le type d'instrument, la méthode de suspension à l'avion et la méthode de calcul les plus appropriées. Un rapport de ses recherches était publié en 1926 (1).

Le travail de *Calwagen* fut arrêté soudainement en 1925 par suite d'un désastre cruel. Pendant un vol aérologique l'avion tomba sur le sol et l'équipage fut tué.

Après un délai de quelques années les sondages par avion étaient organisés de nouveau en 1928. De 1928 à 1937 1087 sondages ont été faits à l'aérodrome militaire de *Kjeller* (59° 58' N, 11° 2' E de Greenwich, altitude 112 m), qui est situé à 15 km au NE d'Oslo au bord d'une petite rivière. Le terrain entourant est caractérisé par des collines, couvertes en partie de bois, en partie de champs cultivés.

Les météorographes employés pour ces sondages sont du type *Jaumotte* (2). La figure 1 montre l'instrument avec la carcasse de suspension. Pour la description détaillée nous renvoyons au mémoire du constructeur. Les vols de sondage ont été faits par le Capitaine de Cavalerie *H. Normann* qui a aussi calibré les instruments et calculé les valeurs enregistrées. Pour le travail de calcul on s'est servi des tableaux de *Bjerknes* (3).

Dans l'étude suivante nous donnons d'abord les moyennes brutes de la température et de l'humidité, calculées d'après les sondages individuels.

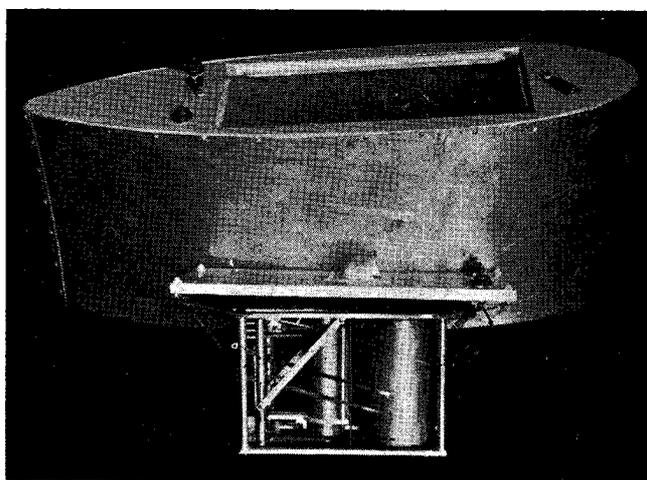


Fig. 1. Météorographe Jaumotte pour sondage par avion.

Ensuite, nous essayons de calculer, à l'aide de la méthode des différences, des valeurs normales de la température. L'étude se termine avec une discussion des résultats.

2. Moyennes brutes de la température et de l'humidité, calculées d'après les sondages individuels.

Les données des sondages individuels sont publiées dans le «Jahrbuch des norwegischen meteorologischen Instituts». De ces valeurs nous avons calculé les moyennes de la température et de l'humidité pour les niveaux de 110, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 mètres géodynamiques. Le résultat se trouve dans le Tableau 1, où

\bar{p} = pression moyenne en mb,

\bar{T} = température moyenne en degrés centigrade,

\bar{U} = humidité relative moyenne en pourcents,

q = humidité spécifique en g/kg,

N_T = nombre de valeurs individuelles de la température,
 N_U = nombre de valeurs individuelles de l'humidité relative,
 $\Delta\bar{T}$ = différence entre les températures moyennes de deux niveaux consécutifs.

Tableau 1.

Moyennes brutes de la température et de l'humidité à Kjeller en 1928—37.

	110	500	1000	2000	3000	4000	5000 gdm
Janvier							
\bar{p}	1002 mb						
\bar{T}	-5.7	-3.7	-4.0	-8.1	-14.0	-20.5	-25.3
N_T	80	80	80	80	77	68	29
\bar{U}	83	82	78	70	68	63	70
N_U	79	62	62	60	56	33	15
q	2.1	2.5	2.5	1.8	1.2	0.7	0.7
$\Delta\bar{T}$	-2.0	0.3	4.1	5.9	6.5	(4.8)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.3
Février							
\bar{p}	1001 mb						
\bar{T}	-5.2	-3.0	-4.3	-9.0	-14.5	-20.1	-24.1
N_T	72	72	72	71	68	66	26
\bar{U}	80	74	71	67	60	54	44
N_U	68	55	55	54	50	38	17
q	2.0	2.4	2.2	1.7	1.0	0.7	0.4
$\Delta\bar{T}$	-2.2	1.3	4.7	5.5	5.6	(4.0)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.5
Mars							
\bar{p}	1003 mb						
\bar{T}	-3.9	-2.0	-3.7	-8.8	-14.3	-20.6	-27.2
N_T	85	85	85	85	85	81	42
\bar{U}	76	74	72	70	66	61	53
N_U	84	58	58	58	58	46	20
q	2.1	2.6	2.3	1.7	1.2	0.7	0.4
$\Delta\bar{T}$	-1.9	1.7	5.1	5.5	6.3	(6.6)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.6
Avril							
\bar{p}	1000 mb						
\bar{T}	3.7	2.0	-0.3	-6.8	-12.4	-18.6	-24.5
N_T	79	79	79	78	76	70	44
\bar{U}	75	75	74	73	67	61	55
N_U	78	78	78	77	74	64	37
q	3.7	3.5	3.1	2.1	1.4	0.8	0.6
$\Delta\bar{T}$	1.7	2.3	6.5	5.6	6.2	(5.9)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.3
Mai							
\bar{p}	1004 mb						
\bar{T}	10.4	8.6	5.9	-0.5	-6.7	-13.0	-19.6
N_T	119	119	119	119	118	111	74
\bar{U}	67	66	65	65	61	55	52
N_U	119	117	117	117	117	109	71
q	5.2	4.8	4.2	3.0	2.0	1.2	0.8
$\Delta\bar{T}$	1.8	2.7	6.4	6.2	6.3	(6.6)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.5

	110	500	2000	3000	3000	4000	5000 gdm
Juin							
\bar{p}	1001 mb						
\bar{T}	15.9	13.2	10.1	3.3	-3.3	-9.5	-15.4
N_T	98	98	98	98	98	94	67
\bar{U}	65	65	65	67	65	52	49
N_U	98	96	96	96	96	88	60
q	7.2	6.5	5.6	4.0	2.8	1.6	1.1
$\Delta\bar{T}$	2.7	3.1	6.8	6.6	6.2	(5.9)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.5
Juillet							
\bar{p}	998 mb						
\bar{T}	18.6	16.0	12.8	6.2	-0.4	-5.8	-12.4
N_T	73	73	73	73	71	64	55
\bar{U}	70	70	70	73	69	62	57
N_U	73	70	70	70	68	58	49
q	9.2	8.3	7.2	5.4	3.6	2.5	1.6
$\Delta\bar{T}$	2.6	3.2	6.6	6.6	(5.4)	(6.6)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							5.9 6.5
Août							
\bar{p}	1003 mb						
\bar{T}	15.6	13.6	11.0	4.7	-1.3	-7.1	-13.0
N_T	87	88	88	88	87	81	64
\bar{U}	75	75	74	75	66	59	54
N_U	86	87	88	86	85	78	62
q	8.2	7.6	6.8	5.0	3.2	2.2	1.5
$\Delta\bar{T}$	2.0	2.6	6.3	6.0	5.8	(5.9)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.5
Septembre							
\bar{p}	1000 mb						
\bar{T}	10.5	8.9	6.4	0.7	-5.0	-11.0	-18.1
N_T	114	114	114	114	110	98	57
\bar{U}	78	74	72	67	62	56	54
N_U	114	113	113	112	103	89	51
q	6.2	5.6	4.8	3.4	2.3	1.5	1.0
$\Delta\bar{T}$	1.6	2.5	5.7	5.7	6.0	(7.1)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.4
Octobre							
\bar{p}	997 mb						
\bar{T}	4.4	4.2	2.1	-3.3	-9.0	-15.8	-21.8
N_T	120	120	120	120	118	105	69
\bar{U}	84	78	75	69	60	55	51
N_U	119	116	116	116	115	93	60
q	4.4	4.3	3.7	2.6	1.6	1.0	0.7
$\Delta\bar{T}$	0.2	2.1	5.4	5.7	6.8	(6.0)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							5.9
Novembre							
\bar{p}	998 mb						
\bar{T}	-0.6	0.0	-1.4	-6.4	-12.6	-19.3	-24.8
N_T	92	92	92	92	90	85	49
\bar{U}	80	82	78	70	66	62	56
N_U	92	80	79	79	77	63	31
q	2.9	3.3	3.0	2.0	1.3	0.9	0.6
$\Delta\bar{T}$	-0.6	1.4	5.0	6.2	6.7	(5.5)	
$\Delta\bar{T}$ corr.							6.3

	110	500	1000	2000	3000	4000	5000 gdm
Décembre							
\bar{p}	1006 mb						
\bar{T}	-5°.8	-2°.8	-3°.0	-7°.1	-12°.0	-17°.9	-22°.4
N_T	68	68	68	68	66	62	36
\bar{U}	86	85	84	76	71	62	52
N_U	67	54	54	54	51	39	20
q	2.1	2.8	2.9	2.1	1.5	0.9	0.7
$\Delta \bar{T}$	-3°.0	0°.2	4°.1	4°.9	5°.9	(4°.5)	
$\Delta \bar{T}$ corr.							6°.7

Dans le Tableau 1 les différences de température $\Delta \bar{T}$ ne sont pas toutes comparables parce que le nombre d'observations individuelles va en diminuant quand l'hauteur augmente. En janvier, par exemple, le nombre d'observations en 4000 gdm était de 68 tandis qu'en 5000 gdm il n'y en avait que 29. Pour obtenir des valeurs comparables de $\Delta \bar{T}$ il faut alors calculer la différence moyenne entre les températures en 4000 et 5000 gdm en tenant compte seulement des 29 paires d'observations simultanées. De cette manière nous avons calculé des valeurs corrigées $\Delta \bar{T}$ corr. pour la couche 4000—5000 gdm et en juillet aussi pour 3000—4000 gdm.

Pour les autres couches la différence entre les nombres d'observations à la limite inférieure et à la limite supérieure de la couche est négligeable. Il en résulte que pour ces couches les valeurs corrigées sont sensiblement les mêmes que les valeurs brutes, conclusion que nous avons confirmé par des calculs directes.

3. Moyennes de la température corrigées selon la méthode des différences.

Les moyennes brutes dans le Tableau 1 s'écartent irrégulièrement aux conditions idéales parce que les jours de sondages ont été choisis par hasard sans égard à la distribution normale des différents types de temps. Pour obtenir des valeurs moyennes de la température en altitude comparables aux moyennes climatologiques au sol il fallait corriger les moyennes brutes des sondages selon la «méthode des différences».

Comme l'a montré Wegener (4) les variations du gradient vertical de la température sont d'un ordre de grandeur plus petit que celles de la température elle-même. En conséquence, les valeurs moyennes du gradient s'approchent aux conditions normales, même par une distribution arbitraire des jours de sondages. Cela posé, il faut trouver,

indépendamment des sondages, certaines valeurs absolues de la température représentant les conditions normales dans un niveau fixe. A l'aide de ces valeurs absolues et des gradients verticaux des sondages, on calcule les valeurs absolues normales dans les autres niveaux. C'est là l'idée de la méthode des différences.

Dans une étude critique Wagner (5) a examiné le domaine de validité de cette méthode. Il a montré qu'il faut l'utiliser avec précaution. C'est une condition nécessaire que les variations simultanées de la température dans les couches en question vont en moyenne dans le même sens. Pour cette raison il n'est pas permis d'étendre la méthode simple à la stratosphère où les variations de température sont généralement opposées aux variations simultanées dans la troposphère. Dans la troposphère, cependant, la méthode donnera, à l'avis de Wagner, de bons résultats jusqu'à l'hauteur de 8 km. La conclusion en est qu'il n'y a pas des objections sérieuses à faire contre l'application de la méthode des différences dans notre cas.

En traitant les sondages pendant l'Année Polaire 1932—33 (6) nous avons utilisé comme valeurs normales de référence les moyennes climatologiques mensuelles au sol. Vu que les sondages montent à 5000 gdm, il serait, sans doute, plus correct de choisir comme valeurs de référence les valeurs normales en 2000 ou 3000 gdm. Cependant, les stations de montagne situées à ce niveau n'ont pas été en opération régulière pendant toute la période qui nous intéresse ici. Pour éviter, néanmoins, autant que possible, les variations irrégulières de la température dans les couches les plus basses de l'atmosphère, nous avons choisi ici comme valeurs de référence les moyennes mensuelles de la température à Tryvasshøgda (59° 59' N, 10° 39' E, 515 m). Cette station est située tout près d'Oslo. La distance de Kjeller est à peu près de 15 km. Les moyennes sont données dans le Tableau 2.

En comparant des observations prises dans l'atmosphère libre avec des observations simultanées à des stations de montagne il faut tenir compte du fait qu'en général la température à la station de montagne est plus basse que celle de l'atmosphère libre au même niveau. Dans un travail non publié O. A. Eide a montré qu'à la station de montagne Fanaråken (61° 31' N, 7° 54' E, 2072 m) la dépression de la température est en moyenne 2°—3° en comparaison avec les sondages à Kjeller. Étant

Tableau 2.

Moyennes mensuelles de la température à Tryvasshøgda (515 m) en 1928—37, comparées avec les moyennes brutes à 500^gdm des sondages à Kjeller.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Tryvasshøgda	-4°0	-4°8	-2°1	+1°6	+6°9	+12°0	+14°4	+13°1	+8°6	+3°6	-0°4	-2°4
Kjeller	-3°7	-3°0	-2°0	+2°0	+8°6	+13°2	+16°0	+13°6	+8°9	+4°2	0°0	-2°8
Différence..... K-T	+0°3	+1°8	+0°1	+0°4	+1°7	+1°2	+1°6	+0°5	+0°3	+0°6	+0°4	-0°4

Tableau 3.

Différence entre la température de Tryvasshøgda et celle à 500 gdm de Kjeller pour des observations simultanées.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Année
Nombre d'observations	9	12	21	28	61	39	24	39	46	34	11	18	342
K-T	-1°0	0°0	-0°3	0°0	-1°0	-0°4	-0°7	-0°7	-0°4	+0°6	+0°8	-0°2	-0°4

donné que la dépression est nulle au sol il y aurait donc lieu d'admettre qu'au niveau de Tryvasshøgda elle serait de l'ordre de grandeur 0°5. En réalité le Tableau 2 montre une différence de 0°7 en moyenne. Toutefois, les observations ne sont pas simultanées et pour cette raison il ne sera pas justifié de supposer que cette différence représente les conditions moyennes.

Pour obtenir des données plus précises nous avons calculé la différence entre la température de Tryvasshøgda et celle de 500 gdm à Kjeller pour ceux des sondages qui ont été faits à des heures synoptiques. Le résultat se trouve dans le Tableau 3.

Contrairement au Tableau 2 la comparaison des 342 observations simultanées montre qu'en ce cas la température de 500 gdm à Kjeller est en moyenne de 0°4 plus basse que celle de Tryvasshøgda. Tryvasshøgda n'étant pas de sommet proprement dit, mais une colline couverte de bois, nous en tirons la conclusion que la différence varie d'une manière plus ou moins accidentelle et que nos observations ne sont pas suffisamment nombreuses pour déterminer la différence moyenne.

Cela posé, nous supposons que les moyennes mensuelles de la température à Tryvasshøgda représentent les conditions normales à 515 m (500 gdm à peu près). Avec ces valeurs comme point de départ nous calculons à l'aide des gradients verti-

caux des sondages (voir Tableau 1) les valeurs corrigées des autres niveaux. Le résultat de ce calcul se trouve dans le Tableau 4.

Tableau 4.

Moyennes corrigées de la température au-dessus de Kjeller en 1928—37.

	110 gdm	500 gdm	1000 gdm	2000 gdm	3000 gdm	4000 gdm	5000 gdm
I	-6.0	-4.0	-4.3	-8.4	-14.3	-20.8	-27.1
II	-7.0	-4.8	-6.1	-10.8	-16.3	-21.9	-28.4
III	-4.0	-2.1	-3.8	-8.9	-14.4	-20.7	-27.3
IV	+3.3	+1.6	-0.7	-7.2	-12.8	-19.0	-25.3
V	+8.7	+6.9	+4.2	-2.2	-8.4	-14.7	-21.2
VI	+14.7	+12.0	+8.9	+2.1	-4.5	-10.7	-17.2
VII	+17.0	+14.4	+11.2	+4.6	-2.0	-7.9	-14.4
VIII	+15.1	+13.1	+10.5	+4.2	-1.8	-7.6	-14.1
IX	+10.2	+8.6	+6.1	+0.4	-5.3	-11.3	-17.7
X	+3.8	+3.6	+1.5	-3.9	-9.6	-16.4	-22.3
XI	-1.0	-0.4	-1.8	-6.8	-13.0	-19.7	-26.0
XII	-5.4	-2.4	-2.6	-6.7	-11.6	-17.5	-24.2
Hiver	-6.1	-3.7	-4.3	-8.6	-14.1	-20.1	-26.6
Printemps	+2.7	+2.1	-0.1	-6.1	-11.9	-18.1	-24.6
Été	+15.6	+13.2	+10.2	+3.6	-2.8	-8.7	-15.2
Automne	+4.3	+3.9	+1.9	-3.4	-9.3	-15.8	-22.0
Année	+4.1	+3.9	+1.9	-3.6	-9.5	-15.7	-22.1
Amplitude	24.0	19.2	17.3	15.4	14.5	14.3	14.3

Le contenu du Tableau 4 est donné graphiquement dans les figures 2—6.

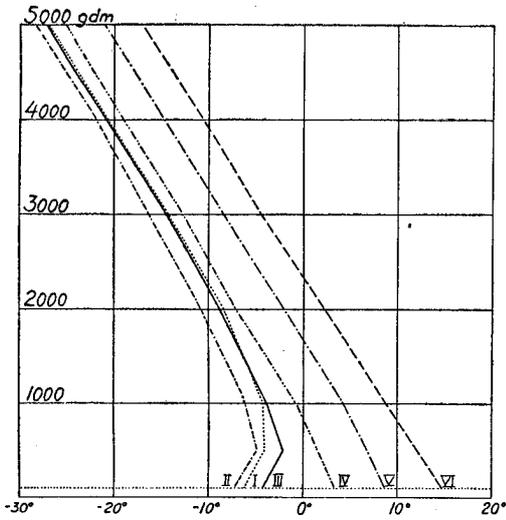


Fig. 2. Température moyenne à Kjeller en janvier—juin.

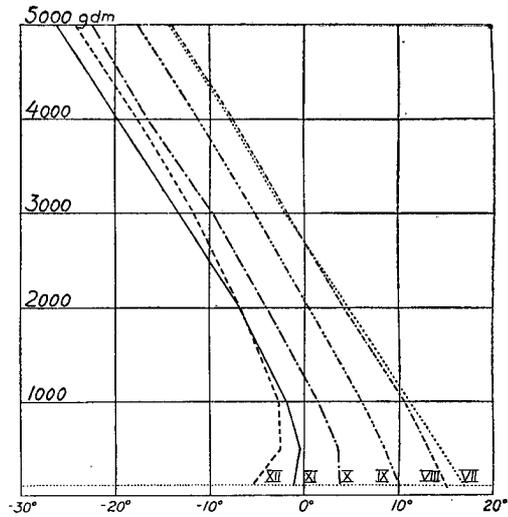


Fig. 3. Température moyenne à Kjeller en juillet—décembre.

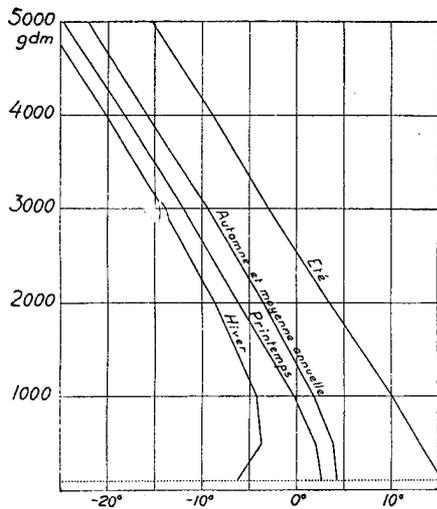


Fig. 4. Température moyenne à Kjeller pendant les saisons et pour l'année.

Du tableau et des figures nous tirons les conclusions suivantes:

- a) Le minimum de température se trouve en février dans tous les niveaux.
- b) Le maximum de température se trouve en juillet jusqu'à 2000 gdm mais retarde vers août au-dessus de 3000 gdm.
- c) L'amplitude va en diminuant avec l'altitude (24°.0 à 110 gdm, 14°.3 à 5000 gdm).
- d) La marche annuelle s'écarte en avril et en décembre à la variation harmonique simple. L'écart est le plus prononcé en décembre.

- e) La température moyenne de l'année est à peu près identique à celle de l'automne. La moyenne du printemps est, au contraire, sensiblement plus basse que celle de l'année.

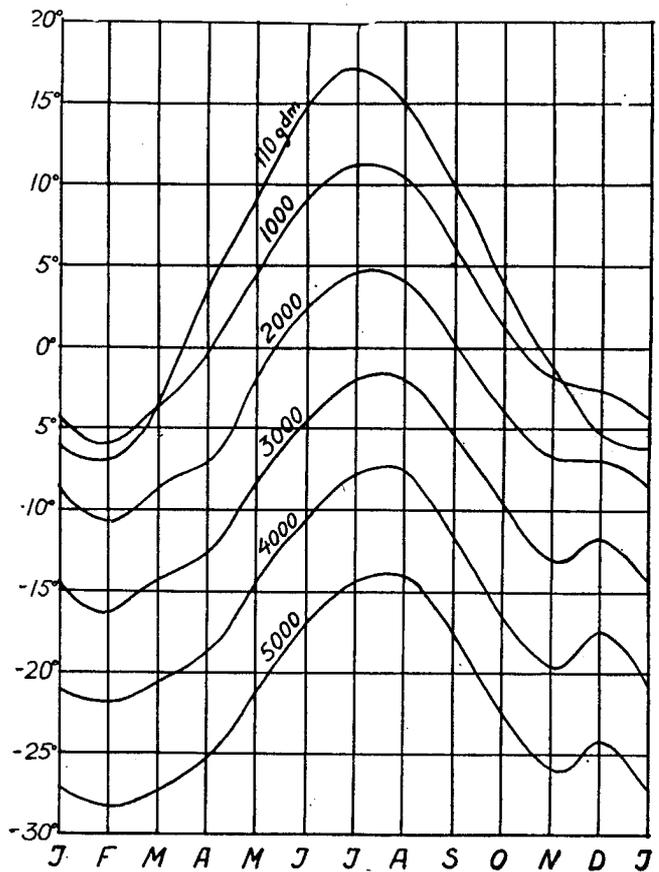


Fig. 5. Marche annuelle de la température au-dessus de Kjeller.

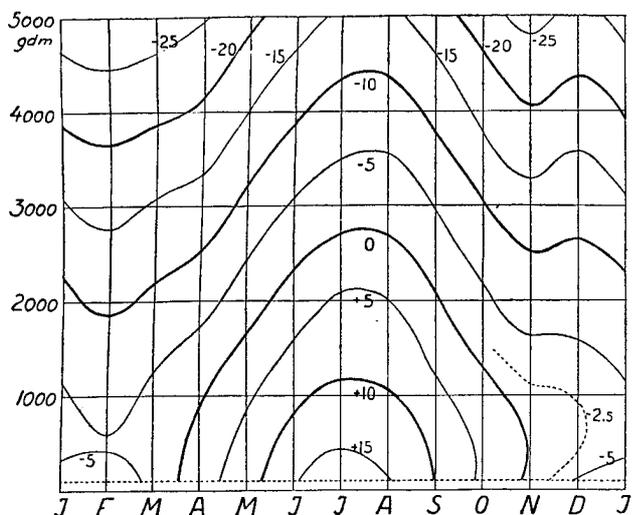


Fig. 6. Isoplèthes de la température au-dessus de Kjeller.

4. L'humidité.

Il résulte du Tableau 1 qu'en général l'humidité relative au-dessus de Kjeller diminue avec l'hauteur. La variation est moins régulière que celle de la température. Par conséquent, il ne serait pas justifié de corriger les valeurs de l'humidité selon la méthode des différences.

Dans le Tableau 1 nous avons calculé aussi l'humidité spécifique. Dans la figure 7 nous donnons les isoplèthes de cette quantité.

La marche annuelle de l'humidité spécifique tombe en deux parties nettement séparées. Dans les mois froids, novembre—mars, le gradient ver-

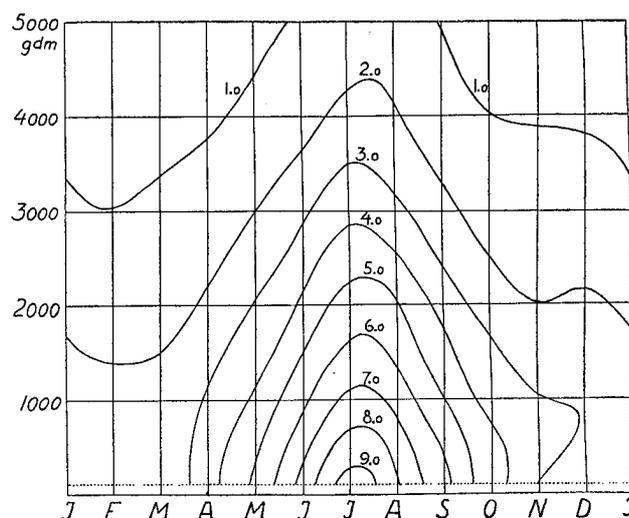


Fig. 7. Isoplèthes de l'humidité spécifique au-dessus de Kjeller.

tical est très petit, fait qui a pour conséquence que le transport vers le haut de l'humidité est aussi négligeable. Dans les mois chauds, avril—octobre, au contraire, le gradient vertical de l'humidité spécifique est considérable; état qui correspond à un transport bien défini de l'humidité vers le haut. Dans les mois chauds nous trouvons ainsi le type convectif du temps, tandis que dans les mois froids le type stable est prédominant.

5. Discussion des résultats.

a) Gradient méridional de la température.

Il nous semble naturel de comparer les valeurs trouvées ici pour Kjeller avec les données de Lin-

Tableau 5.

Différences entre les températures moyennes à Abisko (A), Kjeller (K) et Lindenberg (L).

	1000 gdm		2000 gdm		3000 gdm		4000 gdm		5000 gdm	
	K-A	L-K								
I	+ 3.3	+ 1.3	+ 5.2	+ 1.2	+ 4.2	+ 1.7	+ 2.3	+ 2.8	+ 1.8	+ 2.3
II	+ 4.6	+ 4.0	+ 2.3	+ 4.5	+ 1.3	+ 4.4	+ 1.3	+ 4.5	+ 0.6	+ 4.2
III	+ 3.8	+ 2.6	+ 1.7	+ 2.7	+ 0.3	+ 2.9	+ 0.1	+ 3.3	+ 0.2	+ 3.0
IV	+ 6.7	+ 2.2	+ 5.3	+ 3.0	+ 5.3	+ 3.1	+ 5.4	+ 3.4	+ 5.5	+ 2.9
V	+ 7.1	+ 2.1	+ 6.6	+ 2.6	+ 5.0	+ 3.7	+ 5.0	+ 4.7	+ 4.7	+ 4.7
VI	+ 5.5	- 0.5	+ 3.8	+ 0.4	+ 3.1	+ 2.0	+ 3.0	+ 2.9	+ 3.4	+ 3.2
VII	+ 3.6	- 0.3	+ 2.3	+ 0.4	+ 1.4	+ 1.8	+ 2.3	+ 2.1	+ 1.5	+ 2.4
VIII	+ 2.0	- 0.2	+ 1.0	+ 0.2	- 0.2	+ 1.3	- 1.2	+ 1.9	- 1.2	+ 2.3
IX	+ 1.4	+ 1.7	+ 1.7	+ 2.4	+ 1.8	+ 3.2	0.0	+ 3.2	- 0.2	+ 3.3
X	+ 0.2	+ 3.3	+ 0.7	+ 4.3	+ 1.9	+ 5.2	+ 2.1	+ 6.6	+ 3.8	+ 5.8
XI	+ 1.1	+ 2.1	- 3.3	+ 2.7	- 3.9	+ 3.7	- 3.7	+ 4.2	- 2.8	+ 3.6
XII	+ 10.0	+ 1.7	+ 12.5	+ 0.6	+ 10.4	+ 0.2	+ 10.0	+ 0.8	+ 11.0	+ 0.9
Année	+ 4.1	+ 1.7	+ 3.3	+ 2.1	+ 2.5	+ 2.8	+ 2.2	+ 3.4	+ 2.4	+ 3.2

denberg et d'Abisko, stations aérologiques situées à peu près au même méridien, Lindenberg (52°) environ 900 km au sud de Kjeller et Abisko (68°) environ 1000 km au nord. Dans ce but nous ferons usage des valeurs calculées par Møller (7) pour Lindenberg 1905—1935 et pour Abisko 1907—1935. Dans le Tableau 5 nous donnons les différences entre les températures moyennes à Abisko, Kjeller et Lindenberg pour les niveaux 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 gdm.

Il résulte du Tableau 5 qu'en général la température moyenne à Kjeller tombe entre celles d'Abisko et de Lindenberg. Le matériel ne suffit pas pour juger si les écarts à cette règle générale dans certains mois représentent les conditions normales ou s'ils sont seulement dus au hasard. Pour cette raison nous nous limiterons d'étudier les différences annuelles. Dans le Tableau 6 nous donnons les gradients méridionaux de l'année dans les différents niveaux.

Tableau 6.

Gradients méridionaux de la température annuelle par degrés de latitude.

	1000 gdm	2000 gdm	3000 gdm	4000 gdm	5000 gdm
K-A (60°—68°)	0.51	0.41	0.31	0.28	0.30
L-K (52°—60°)	0.21	0.26	0.35	0.43	0.40

Il s'ensuit que dans les niveaux inférieures (jusqu'à 2000 gdm) le gradient méridional de la température est plus grand vers le nord que vers le sud. Dans les niveaux moyens (3000—5000 gdm), au contraire, le gradient méridional est plus grand vers le sud que vers le nord.

Le gradient méridional annuel entre Lindenberg et Kjeller est plus petit que celui donné par Wagner (8) pour l'Europe Central entre 52° N et 60° N. Pour 60° N, cependant, Wagner s'est servi des sondages de Pawlowsk, station qui a une position géographique plus continentale que Kjeller. Ainsi, les résultats différents concernant la grandeur du gradient méridional s'expliquent d'une manière satisfaisante.

b) Extrêmes, amplitudes.

A Kjeller, dans la période étudiée, le minimum de température se trouve en février. A Lindenberg¹⁾, au contraire, le minimum paraît en janvier

¹⁾ Møller, l. c. p. 164.

jusqu'à 6000 m, tandis qu'aux niveaux supérieures il se déplace vers février. A Abisko¹⁾ la température est le plus bas en décembre. Il n'est pas justifié, d'attribuer à ces écarts trop d'importance. Ils sont dus, sans doute, plus ou moins au hasard.

Le déplacement du maximum de température à Kjeller de juillet dans les couches inférieures, à août dans les couches moyennes s'accorde bien avec les conditions correspondantes à Lindenberg.

L'amplitude annuelle de la température est plus grande à Kjeller qu'à Lindenberg, dans tous les niveaux en question.

L'amplitude à 5000 gdm de Kjeller est à peu près de 60 p. 100 de celle à la terre tandis qu'à Lindenberg elle est de 70 p. 100.

c) Écarts à la variation harmonique simple.

Comme montrent les figures 5 et 6 la marche annuelle de la température à Kjeller s'écarte en avril et en décembre à la variation harmonique simple. En avril la hausse régulière de la température se ralentit nettement tandis qu'en décembre la baisse régulière est interrompue par un maximum secondaire dans les couches 2000—5000 gdm.²⁾

Il faut voir d'abord si ces écarts sont dus seulement à un choix accidentel des jours de sondage, ou s'ils représentent les conditions normales pendant la période en question. — Dans ce but nous avons divisé les sondages en trois groupes:

- Groupe I: Pression au sol < 990 mb.
- » II: » » » 990—1010 mb.
- » III: » » » > 1010 mb.

Pour ces groupes nous obtenons les températures moyennes suivantes:

Tableau 7.

Groupe.....	I	II	III
Pression moyenne..	982.1	1000.2	1014.7
Nombre de sondages	173	662	252
110 gdm	+ 4°.0	+ 7°.4	+ 2°.0
500 »	+ 3°.2	+ 6°.2	+ 3°.2
1000 »	+ 0°.9	+ 4°.3	+ 1°.5
2000 »	— 5°.7	— 1°.9	— 1°.7
3000 »	— 13°.0	— 8°.0	— 7°.0
4000 »	— 19°.8	— 14°.0	— 12°.8
5000 »	— 25°.8	— 19°.3	— 17°.9

¹⁾ Møller, l. c. p. 167.

²⁾ Il faut noter que ces irrégularités ne se font pas sentir au sol. Tant à Kjeller qu'à d'autres stations dans la Norvège Orientale la température moyenne de la période 1928—37 montre une marche annuelle harmonique dans les couches les plus basses.

Les données du Tableau 7 sont représentées graphiquement dans la figure 8. On voit que le gradient vertical de la température est le plus

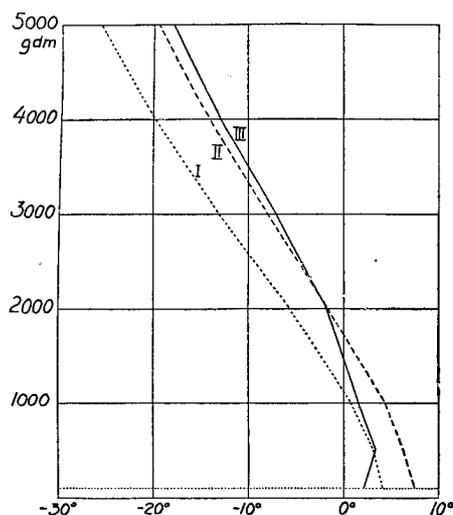


Fig. 8. Température moyenne par des pressions basses (I), moyennes (II) et hautes (III).

grand par des pressions basses au sol et le plus petit par des pressions hautes. Si alors, en avril, la pression moyenne aux jours de sondage était par hasard plus basse et en décembre, par hasard, plus haute que normalement, cela expliquerait les écarts comme des résultats accidentels. Or, une comparaison des moyennes de pression à Kjeller aux jours de sondage avec les moyennes mensuelles à Oslo (voir Tableau 8 et figure 9) montre que la marche de la pression à Kjeller correspond très bien à celle des moyennes mensuelles à Oslo.

La différence entre les deux séries de valeurs est à peu près constante. Toutefois, il faut remarquer qu'en décembre la différence est le plus petit, c.-à.-d. qu'alors la pression aux jours de sondage a été en moyen plus haute que normalement.

En outre, il y a lieu de noter que la différence des pressions est en moyen plus petite que celle correspondant normalement à la différence entre les hauteurs des stations (87 m, 11 mb à peu près). Cela signifie que dans presque tous les mois il y a un excès de jours de sondage par des hautes pressions et que, par conséquent, les températures

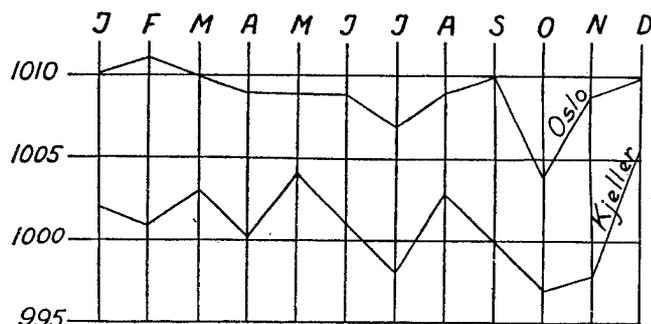


Fig. 9. Moyennes mensuelles de la pression à Oslo en 1928—37 et moyennes de la pression à Kjeller aux jours de sondage.

trouvées pour les couches élevées sont un peu trop hautes. Cet effet se fait sentir, cependant, dans tous les mois et ne change pas le caractère général de la marche annuelle de la température, sauf que le gradient vertical a un peu diminué.

De cette discussion nous tirons la conclusion que les singularités de la marche annuelle de la température en avril et en décembre sont réelles, toutefois avec la réserve qu'en décembre le maximum secondaire a été exagéré par des effets accidentels.

Des singularités analogues ont été trouvées par des autres auteurs. En traitant les sondages par ballons-sondes à Abisko Rolf (9) a obtenu un abaissement de la température en avril au-dessous d'environ 6000 gdm et un maximum secondaire

Tableau 8.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Moyennes mensuelles de la pression à Oslo (25 m) en 1928—37	1010	11	12	09	12	09	07	09	10	04	09	1010 mb
Moyennes de la pression à Kjeller (112 m) aux jours de sondage	1002	01	03	00	04	01	998	1003	00	997	98	1006 mb
Différence	8	10	9	9	8	8	9	6	10	7	11	4 mb

en novembre au-dessous de 8000 gdm (voir la figure 12, *l. c.* page 39). Pour Lindenberg *Møller* (*l. c.* page 165) a montré que la marche annuelle de la température de la stratosphère est discontinuée au printemps et en automne. En discutant ce phénomène *Schmauss* (10) a supposé qu'il est dû aux variations du «mousson européen». Cette explication nous semble très vraisemblable. Les

singularités dans la marche annuelle de la température tant au sol qu'à l'atmosphère libre, sont dues, sans doute, à des variations plus ou moins régulières des régimes des masses d'air principales. Une discussion approfondie de ces relations tombe pourtant au dehors du cadre de l'étude présente.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) *Ernst G. Calwagen*, Zur Diagnose und Prognose lokaler Sommerschauer, Aerologische Flugzeugaufstiege in Ost-Norwegen. Geof. Publ., III, 10. Oslo 1926.
- (2) *J. Jaumotte*, Un météorographe pour sondage par avion. Ciel et Terre XLI, p. 113. Bruxelles 1925.
- (3) *V. Bjerknes and different collaborators*, Dynamic Meteorology and Hydrography, Meteorological Tables. Washington D. C. 1910.
- (4) *A. Wegener*, Über die Ableitung von Mittelwerten aus Drachenaufstiegen ungleicher Höhe. Beitr. Physik fr. Atm., 3, p. 13. Leipzig 1910.
- (5) *A. Wagner*, Kritische Bemerkungen zur Differenzenmethode. Beitr. Physik fr. Atm., 21, p. 279. Leipzig 1934.
- (6) *Erik Björkdal*, Mittlere Werte der Temperatur und relativen Feuchte nach Flugzeugaufstiegen in Norwegen während des Polarjahres 1932—33. Beitr. Physik fr. Atm., 24, p. 234. Leipzig 1938.
- (7) *Fritz Möller*, Der Jahresgang der Temperatur in der Stratosphäre Met. Zeitschr., Mai 1938. p. 161.
- (8) *A. Wagner*, Klimatologie der freien Atmosphäre, Handbuch der Klimatologie, I F, p. F 27, fig. 3 c. Berlin 1931.
- (9) *Bruno Rolf*, Lancers de ballons-sondes d'Abisko de 1921 à 1929, Meddelanden från Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Band 5, no. 5. Stockholm 1932.
- (10) *A. Schmauss*, Synoptische Singularitäten, Met. Zeitschr., Nov. 1938, p. 389.

MOYENNES DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'HUMIDITÉ EN NORVÈGE DU SUD SELON LES SONDAGES PAR AVION A KJELLER EN 1928—1937

PAR ERIK BJÖRKDAL

(Manuscrit reçu le 26 janvier 1939.)

1. Remarques générales.

Les premiers sondages par avion en Norvège étaient organisés par *Calwagen* en 1923—25. A cette époque la technique de ces sondages était encore peu développée. En conséquence, *Calwagen* s'est efforcé de trouver le type d'instrument, la méthode de suspension à l'avion et la méthode de calcul les plus appropriées. Un rapport de ses recherches était publié en 1926 (1).

Le travail de *Calwagen* fut arrêté soudainement en 1925 par suite d'un désastre cruel. Pendant un vol aérologique l'avion tomba sur le sol et l'équipage fut tué.

Après un délai de quelques années les sondages

par avion étaient organisés de nouveau en 1928. De 1928 à 1937 1087 sondages ont été faits à l'aérodrome militaire de *Kjeller* (59° 58' N, 11° 2' E de *Greenwich*, altitude 112 m), qui est situé à 15 km au NE d'Oslo au bord d'une petite rivière. Le terrain entourant est caractérisé par des collines, couvertes en partie de bois, en partie de champs cultivés.

Les météorographes employés pour ces sondages sont du type *Jaumotte* (2). La figure 1 montre l'instrument avec la carcasse de suspension. Pour la description détaillée nous renvoyons au mémoire du constructeur. Les vols de sondage ont été faits par le Capitaine de Cavalerie *H. Normann* qui a aussi calibré les instruments et calculé les valeurs enregistrées. Pour le travail de calcul on s'est servi des tableaux de *Bjerknes* (3).

Dans l'étude suivante nous donnons d'abord les moyennes brutes de la température et de l'humidité, calculées d'après les sondages individuels.

Fig. 1. Météorographe *Jaumotte* pour sondage par avion. Ensuite, nous essayons de calculer, à l'aide de la méthode des différences, des valeurs normales de la température. L'étude se termine avec une discussion des résultats.

2. Moyennes brutes de la température et de l'humidité, calculées d'après les sondages individuels.

Les données des sondages individuels sont publiées dans le «*Jahrbuch des norwegischen meteorologischen Instituts*». De ces valeurs nous avons calculé les moyennes de la température et de l'humidité pour les niveaux de 110, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 et 5000 mètres géodynamiques. Le résultat se trouve dans le Tableau 1, où

\bar{p} = pression moyenne en mb,
 \bar{T} = température moyenne en degrés centigrade,
 \bar{U} = humidité relative moyenne en pourcents,
 g = humidité spécifique en g/kg.