

EXPLORATION INTERNATIONALE DES RÉGIONS POLAIRES
1882—1883.

OBSERVATIONS

FAITES AU

CAP THORDSEN, SPITZBERG,

PAR

L'EXPÉDITION SUÉDOISE

PUBLIÉES

PAR

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE SUÈDE.

TOME II: 3.

PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPÈRE

AVEC QUELQUES REMARQUES SUR

LES ÉTOILES FILANTES, LE SPECTRE DES COPÉPODES,
L'ACCROISSEMENT DES BRINS D'ORGE

PAR

CARLHEIM-GYLLENSKIÖLD.

STOCKHOLM, 1887.
KONGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER.

I.

SUR LES PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHERE

L'étude approfondie des phénomènes optiques de l'atmosphère n'étant pas comprise dans le programme de l'expédition du cap Thordsen, les remarques suivantes ne donnent qu'une esquisse des phénomènes qui se passent dans la nature.

Nous avons divisé notre mémoire en deux parties. La première est consacrée à la description des crépuscules, dans la seconde, nous parlerons des halos, de l'arc-en-ciel, de l'arc blanc, des couronnes et des nuages irisés.

PREMIÈRE PARTIE

PHÉNOMÈNES D'ABSORPTION, DE DIFFUSION ET DE POLARISATION

Au coucher du soleil, le ciel à l'horizon prend des teintes plus chaudes. Après le coucher de l'astre, le ciel devient extrêmement transparent du côté du soleil; il est plus opaque à l'opposé. Puis l'arc de l'anticrépuscule monte; il est rose en haut, puis rouge-violet, bleu-violet, enfin bleu-verdâtre en bas. Le segment bleu foncé, en s'élevant, se confond avec le bleu noirâtre du zénith. Alors le segment éclairé du côté du soleil est nettement tranché.

J'ai mesuré, à diverses reprises, la hauteur de cet arc crépusculaire. J'ai obtenu les résultats suivants:

HAUTEUR DE L'ARC CRÉPUSCULAIRE														
Dépression du soleil	Hauteur de l'arc	Date et heure		Dépression du soleil	Hauteur de l'arc	Date et heure		Dépression du soleil	Hauteur de l'arc.	Date et heure				
17°.10'	10°. 0'	Févr.	1 ^{er}	5 ^h . 20 ^m à 6 ^h . 10 ^m	13°. 0'	4°. 0'	Mars	12	2 ^h . 5 ^m	9°.20'	7°.22'	Nov.	1 ^{er}	6 ^h . 48 ^m
16. 0	7.29	Mars	8	1	12.50	5.45	Déc.	17	13.10	8.20	14.42	Oct.	31	7.15
15.30	2. 0	Janv.	2	8.15	12.40	7. 5	"	17	10. 5	8.20	5.43	Nov.	1 ^{er}	7.23
14.10	1. 0	"	29	7	12.30	3. 0	"	12	13	8. 0	17.30	Oct.	6	4.25
14. 0	5. 0	Oct.	31	5. 5	12.20	9.40	"	13	12.45	7.50	8. 0	Mars	25	2. 5
14. 0	4. 0	Déc.	13	14	12.10	4. 0	"	13	10.20	7.40	8.30	Oct.	6	4.30
14. 0	6.30	Janv.	2	8.55	12. 0	4.55	"	1 ^{er}	9.15	7.20	13.47	Mars	30	23. 7
13.40	3.54	Oct.	19	4	11.40	10.45	Oct.	31	6. 5	7.10	19. 8	Sept.	20	20.25
13.30	6.10	"	31	5.25	11.20	9.50	"	6	3.10	5.50	28.10	"	11	1. 5 à 1 ^h . 15 ^m
13.30	2. 0	Nov.	26	8	11.20	5. 0	"	19	4.50	4.40	28.35	"	20	20.25
13.20	7.14	"	11	16. 3	10.50	3.54	Sept.	26	1.40	3.40	35. 3	Nov.	1 ^{er}	9.46
13.10	3. 0	"	26	8.20	9.40	11.15	Oct.	31	6.45					

Observations faites au cap Thordsen. 11. 3.

HAUTEUR DE L'ARC LE PLUS HAUT			
Dépression du soleil	Hauteur de l'arc	Date et heure	
7.20	41. 7'	Mars 30	23 ^h . 7 ^m
6.20	46. 0	" "	21. 58
5.50	37.30	Sept. 11	1. 5 à 1 ^h . 15 ^m
5.30	57. 7	Mars 31	2

En partageant le nombre total des observations en groupes de cinq observations on a:

ANGLE de dépression du soleil	HAUTEUR de l'arc crépusculaire
14.16'	3.41'
13.18	4.29
12.30	5.54
11.26	6.53
8.44	11.18
6.14	45.21
¹ 7.10	15.31
4.23	32.11

* Ce nombre est la moyenne de trois observations seulement.

On trouve par une méthode graphique, que l'arc crépusculaire va mourir à l'horizon quand le soleil est à 17° 40' au-dessous de ce plan.

On peut déduire des hauteurs observées de l'arc crépusculaire la hauteur des couches aériennes réfléchissant la lumière du soleil. Soit R le rayon terrestre, Z la hauteur de la couche réfléchissante, D la distance de l'œil de l'observateur d'un point à la limite de la lumière et de l'ombre, $\bar{\odot}$ la dépression du soleil,² H la hauteur angulaire du segment lumineux. On a

$$\frac{D}{R} = \frac{\sin \frac{1}{2} \bar{\odot}}{\sin (\frac{1}{2} \bar{\odot} + H)} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \bar{\odot} \quad \dots \quad (1)$$

$$\frac{Z}{R} = -1 \pm \sqrt{1 + \frac{D^2}{R^2} + 2 \frac{D}{R} \sin H} \quad \dots \quad (2)$$

Ces formules servent à calculer D et Z d'après les grandeurs connues $\bar{\odot}$, H et R . On obtient

¹ Ces relèvements se rapportent à un arc plus bas.

² Dépression vraie moins la double valeur de la réfraction horizontale.

☉	H	Z
14°.16'	3°.41'	533 kilomètres.
13.18	4.29	519 »
12.30	5.54	518 »
11.26	6.53	493 »
8.44	11.18	419 »
6.15	45.21	342 »

Ces résultats viennent à l'appui des opinions émises par M. de Bezold dans les *Annales de Poggendorff* pour l'année 1864.

Quant aux arcs anticrépusculaires, il y en a deux, l'un sombre, l'autre plus clair. En voici les hauteurs telles que je les ai mesurées. ¹

HAUTEUR DE L'ANTICRÉPUSCULE LE PLUS sombre:			
Date	Heure	Dépres- sion du soleil	Hauteur de l'arc
Mars 25	2 ^h . 5 ^m	7°.50'	1°. 0'
Oct. 6	4.30	7.40	2. 0
Sept. 11	0.30	6.30	2.20
Mars 30	21.58	6.20	2. 4
» »	20.50	4.50	0.47

HAUTEUR DE L'ANTICRÉPUSCULE ORDINAIRE:							
Date	Heure	Dépersion du soleil	Hauteur de l'arc	Date	Heure	Dépersion du soleil	Hauteur de l'arc
Sept. 20	3 ^h . 25 ^m	4°.50'	16°.35'	Sept. 24	18 ^h . 4 ^m	2°.20'	9°.20'
Mars 30	20.58	4.50	21.27	Oct. 8	16.12	2.20	5.30
Sept. 10	1.45	4.40	16. 0	Mars 24	18.50	2.10	6. 0
» 20	19.25	4.40	21.30	août 29	23. 8	2. 0	4. 5
Oct. 8	16.57	4.40	34.29 ^p	» 29	22.23	1.30	3.45
Mars 3	16.52	4. 0	15.22	Sept. 9	20. 5	1.30	5.10
Févr. 17	15	3.50	28.21	Mars 20	18. 9	1.30	5. 0
Mars 24	4	3.40	60. 0	Sept. 9	20	1.20	4. 0
Sept. 20	19. 0	3.30	20.50	» 20	18.15	1.20	3. 0
Mars 12	5.52	3.30	17. 7	août 26	0	1. 0	3. 0
Sept. 20	4	3.20	32.55	Sept. 24	17.40	1. 0	6.10
Oct. 8	16.32	3.20	9.44	août 26	0.15	0.50	3. 0
Mars 12	17.48	3.10	12.10	Sept. 24	17.33	0.40	5.30
Sept. 10	2.33	3. 0	10. 0	août 30	2	0.20	2. 5
» 20	18.50	3. 0	12.10	Sept. 10	3.45	0.20	0. 0
Oct. 8	16.23	3. 0	9.19	août 29	21.27	0.10	2. 0
Mars 7	17	3. 0	8. 0	» 25	0.45	0. 0	1.30
» 12	17.41	3. 0	9. 7	» 29	21.20	0. 0	2. 0
Sept. 24	18.10	2.40	7.50	» 30	2.13	0. 0	1.40
Oct. 8	16.17	2.40	7. 9	Mars 7	16	0. 0	1.33
» 31	11.10	2.40	5.50				
Sept. 29	5.23	2.30	5.30	Mars 30	23 ^h . 7 ^m	7°.20'	138°.53'
Oct. 8	16.14	2.30	6.59	» »	21.58	6.20	134. 0
Mars 12	17.30	2.30	5.22	» 24	3	6.10	90. 0
» 30	19.55	2.30	5.30	Sept. 11	1.10	5.50	142.30
Sept. 10	2.55	2.20	7.15	Mars 31	2	5.30	122.53

¹ Il est difficile de fixer la limite du segment sombre, parcequ'il se fond par une gradation de couleurs qui deviennent de plus en plus claires, mais on suppose que la limite est à la ceinture rouge-violet.

Les moyennes des groupes de cinq observations sont:

ANGLE de dépression du soleil	HAUTEUR de l'arc anticrépusculaire
6°.38'	1°.38' ¹
6.14	125.39
4.44	22.0
3.40	28.20
3.10	15.24
2.52	8.17
2.32	5.50
2.14	6.28
1.26	4.11
0.46	3.57
0.6	1.26 (6 observat.)

Si l'on forme seulement cinq groupes de dix observations, on a:

ANGLE de dépression du soleil	HAUTEUR de l'arc anticrépusculaire
4°.22'	25°.10'
3.1	11.51
2.23	6.9
1.6	4.4
0.5	1.27

Je trouve par une méthode graphique que l'arc anticrépusculaire sombre monte lorsque le soleil est à 5° 50' sous l'horizon; que l'arc anticrépusculaire clair monte lorsque le soleil est encore à 0° 30' au-dessus de l'horizon astronomique.²

On retrouve quelquefois l'arc anticrépusculaire clair de l'autre côté du zénith. Il borde alors l'arc crépusculaire le plus sombre.

Lorsque la nuit tombe, les étoiles les plus brillantes se présentent d'abord à nos yeux, puis ensuite les plus faibles d'éclat, d'après le tableau suivant (ce tableau est très approximatif):

GRANDEUR de l'étoile:	ANGLE de dépression du soleil à l'apparition.
1	5°
2	6
3	7
4	9
5	11
6	13

On a allumé les lampes pendant notre hivernage, la dépression du soleil étant 3° 24'. (Moyenne de huit observations du 23 au 31 octobre.)

La couleur du ciel au zénith se modifie progressivement, quand le soleil s'abaisse. Le tableau suivant contient mes notes à ce sujet:

¹ Ce nombre appartient à l'arc le plus sombre.

² On néglige toujours l'effet de la réfraction.

DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	COULEUR DU CIEL AU ZÉNITH	DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	COULEUR DU CIEL AU ZÉNITH
Déc. 13	14 ^h	14°. 0'	Indigo foncé.	Mars 24	3 ^h	6°.10'	Indigo foncé.
Nov. 26	8.20 ^m	13.10	Bleu foncé.	» 11	1. 5 ^m	5.50	Bleu grisâtre.
Déc. 17	10. 5	12.40	Bleu foncé.	» 31	2	5.30	Bleu foncé tirant sur le rouge.
» 12	13	12.30	Bleu foncé.	Sept. 20	3.25	4.50	Faible gris perle.
» 13	12.45	12.20	Ciel foncé de la nuit.	» 10	1.45	4.40	Bleu indécis, tirant sur l'ocre jaune.
» 13	10.20	12.10	Ciel foncé de la nuit.	» 20	3.40	4.10	Assez claire.
Janv. 11	9.30	12.10	Lueur pourprée.	Nov. 1 ^{er}	2. 4	4.10	Gris perle foncé.
Déc. 1 ^{er}	9.15	12. 0	Bleu foncé, tirant sur le violet.	Mars 3	16.52	4. 0	Bleu blanchâtre, tirant sur le pourpre.
Janv. 11	10	11.20	Lueur pourprée.	» 24	4	3.40	Indigo foncé tirant sur le violet.
» 8	12.20	10.50	Bleu foncé.	Sept. 20	4	3.20	Gris perle ou Indigo tirant sur le pourpre.
» 24	9	10.30	Faible lueur rouge.	» 10	2.33	3. 0	Gris perle.
Oct. 31	6.40	10. 0	Bleu foncé, tirant faiblement sur le violet.	» 20	18.50	3. 0	Bleu mêlé de Laque carminée.
Sept. 20	1	9.30	Assez sombre.	» 9	20.30	2.30	Gris perle.
Nov. 1 ^{er}	6.48	9.20	Bleu foncé.	» 10	2.55	2.20	Gris perle.
Oct. 31	7.15	8.20	Bleu foncé.	» 24	18. 4	2.20	Bleu assez vif.
» 6	4.25	8. 0	Gris perle foncé.	Août 29	23	1.50	Faible gris perle.
Janv. 24	11	8. 0	Lueur rouge.	Sept. 9	20	1.20	Faible gris perle.
» 28	10	8. 0	Ciel bleu foncé de la nuit.	Août 28	22	1. 0	Bleu prussien.
Mars 25	2. 5	7.50	Lueur pourprée.	Sept. 24	17.40	1. 0	Gris bleuâtre assez clair.
» 30	23. 7	7.20	Bleu foncé.	Avr. 12	2	1. 0	Bleu foncé tirant sur le vert.
Sept. 20	20.25	7.10	Bleu foncé ou Indigo.	Sept. 24	17.33	0.40	Gris perle foncé.
Mars 26	2.15	7. 0	Bleu foncé, tirant faiblement sur le pourpre.	Févr. 17	12	0.30	Bleu foncé.
Sept. 11	0.30	6.30	Gris perle foncé.	Août 26	21.35	0.20	Faible bleu.
Mars 30	21.58	6.20	Bleu foncé tirant sur le pourpre.				

Le zénith est bleu foncé à une dépression du soleil de 10° 15', il est rouge à une dépression de 7° 26', gris-perle à une dépression de 2° 57'.

Voici une note intéressante à propos de ces lueurs rouges au zénith. Le 11 janvier à 9^h 30^m on a observé: «Une lueur pourprée et éclatante couvre le zénith, elle descend jusqu'à «Véga, α Cygne, α Vierge. Elle ressemble beaucoup à une aurore boréale rouge. Le ciel est bleu «à l'horizon. Analysant cette lueur rouge au spectroscopie, on y découvre un spectre continu; «c'est le reflet du soleil.» Une demi-heure plus tard, on ajoute: «La lueur rouge persiste «encore; ce ne peut dépendre de l'eau précipitée dans l'atmosphère, puisque la brume obscurcit «les étoiles là où il n'y a pas de lueur rouge». On répète cette observation le 24 janvier à 9^h. «Une faible lueur rouge apparaît au zénith, semblable aux lueurs pourprées de l'aurore boréale, «brillantes dans l'obscurité de la nuit polaire. Le prisme de Nicol nous révèle la polarisation «verticale de cette lueur, le spectroscopie montre un spectre continu. — La lueur rouge est «encore visible à 11^h, elle s'est rétrécie, elle est bordée au sud par le crépuscule, au nord par «un segment bleu, vert en bas . . . c'est l'anticrépuscule sombre.»

Cette lueur rouge descend jusqu'à l'arc crépusculaire, dont elle illumine le bord supérieur d'un violet faible. Cette lueur violette n'est probablement pas l'arc rose plus sombre (*zweites Purpurlicht* de M. de Bezold) mais elle correspond à la ceinture pourprée de l'anticrépuscule clair.

On a pris aussi quelques mesures sur le spectre de l'arc crépusculaire. Les raies solaires apparaissent faibles, lorsque le soleil était à 3° 40' sous l'horizon; elles disparaissent quand celui-ci s'était abaissé jusqu'à 4° 50'. Les raies d'absorption de l'atmosphère sont visibles déjà

avant le coucher du soleil, puis elles s'accroissent successivement à mesure que le soleil s'abaisse; quand il est à $12^{\circ}10'$ sous l'horizon, l'éclat de l'arc crépusculaire est trop faible pour qu'on puisse les voir. Le tableau ci-dessous indique l'éclat des raies à différentes positions du soleil et à diverses températures. Les noms des raies sont indiqués d'après Brewster et M. Piazzi Smyth.¹

DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	TEMPÉRATURE de l'air	BANDE d'absorption de l'acide carbonique	BANDE d'absorption de la vapeur d'eau
Févr. 15	9 ^h —10 ^h	— 0°.10'	— 18°	A, B (fortes), α , λ (faibles).	r, W (faibles).
Sept. 10	1.55 ^m	+ 3.40	0	α , δ , λ fortes.	C, W fortes, r.
Mars 3	5.13	+ 4.50	— 9	B, α , δ fortes, λ	C, r, W faibles.
Janv. 8	12.20	+ 10.50	— 17	δ , λ fortes.	W faible.
Déc. 13	12.45	+ 11.40	— 29	δ , λ fortes.	...

Le milieu du spectre se déplace vers l'extrémité rouge à mesure que le soleil s'abaisse. Voyez, à ce sujet, le tableau suivant:

DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	LONGUEUR D'ONDE du milieu du champ éclairé
Févr. 15	9 ^h —10 ^h	— 0°.10'	5810
Sept. 10	1.55	+ 3.40	5470
Mars 3	5.13	+ 4.50	5660
Oct. 31	7.24	+ 7.50	5470
" "	6.35	+ 10.0	5300
Janv. 8	12.20	+ 10.50	5330
Déc. 13	12.45	+ 12.10	5310
Oct. 31	5.25	+ 13.20	5200

Le spectre de l'arc crépusculaire s'étend de 6860 à 4330 (milieu 5600) lorsque le spectre de l'anticrépuscule et du zénith s'étend de 6390 à 4250 (milieu 5320). Les rayons les plus réfringibles sont donc plus nombreux dans l'anticrépuscule que dans le crépuscule.

On a fait ensuite quelques recherches sur la polarisation du ciel, à l'aide du polariscope Savart². En voici les résultats:

DATE	HEURE	DÉPRES- sion du soleil	POLARISATION DU CIEL			DATE	HEURE	DÉPRES- sion du soleil	POLARISATION DU CIEL		
			Du côté du soleil	Au zénith	A l'opposé du soleil				Du côté du soleil	Au zénith	A l'opposé du soleil
Mars 12	1 ^h .15 ^m	14°.10'	h	...	...	Oct. 6	4 ^h .30 ^m	7°.40'	v	v	h
" "	2.5	13.0	h	...	...	Sept. 20	20.25	7.10	v	v	h
Déc. 17	13.10	12.50	? h	Rien	...	" "	20	6.10	...	...	h
Mars 12	2.25	12.20	h	v	h	" "	19.25	4.40	...	...	h
Déc. 13	10.20	12.10	h	v	Rien	Mars 3	16.58	4.10	h	v	h
Janv. 8	14	12.30	? h	v	...	Sept. 20	18.50	1.20	...	v	h
Déc. 30	midi	11.40	h	...	...	" "	18.15	négative	...	...	h
Sept. 26	1.40	10.50	h	...	...	" "	17.45	"	...	"	h
Janv. 8	12.20	10.50	h	v	...	" "	17.40	"	?	...	h
" "	24 9	10.30	...	v	...	Oct. 7	15	"	v	...	h
Oct. 6	3.48	9.40	v	...	h						

h désigne que le plan de polarisation est perpendiculaire au plan vertical du soleil (*polarisation horizontale*).
v " " " " " " " " parallèle " " " " " " " " (*polarisation verticale*).

¹ *Edinburgh Astronomical Observations*, 1870—1877.

² Je dois cet instrument à l'obligeance de M. Edlund, professeur à l'Académie des Sciences à Stockholm.

La polarisation perpendiculaire au plan vertical passant par le soleil apparaît à l'aube quand la dépression du soleil est de $14^{\circ} 10'$, la polarisation parallèle à ce plan au zénith devient sensible dès que le soleil est monté à $12^{\circ} 30'$ sous l'horizon, la polarisation horizontale de l'anticrépuscule apparaît à une dépression du soleil égale à $9^{\circ} 40'$. On a trouvé en outre que le point neutre dans l'anticrépuscule (*le point neutre d'Arago*) est à $29^{\circ} 24'$ au-dessus de l'horizon, lorsque le soleil est à $6^{\circ} 48'$ sous ce même plan (*Valeur approximative*).

Passons enfin aux colorations successives des nuages au lever du soleil. Le soleil commence alors par illuminer les nuages supérieurs d'un rose vif, les nuages inférieurs restant encore sombres. A mesure que le soleil s'élève, les cirrus se teignent successivement de pourpre, d'orangé, de jaune, puis ils deviennent de plus en plus clairs, et finissent par devenir blancs. Lorsque les cirrus sont colorés en orangé, les stratocumulus commencent à se teindre en rouge; leur lumière parcourt successivement toutes les nuances qu'on aperçoit dans les cirrus.

Voici les observations qu'on a faites sur les couleurs des nuages:

Couleurs des nuages supérieurs:

DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	COULEUR DES NUAGES	DATE	HEURE	ANGLE de dépression du soleil	COULEUR DES NUAGES.
Mai 2	22 ^h . 20 ^m	— 6. 0'	Orangé.	Août 26	0 ^h	1. 0'	Sombres.
Sept. 26	15. 45	— 4. 30	Orangé pâle.	Sept. 29	17. 6 ^m	1. 30	Pourpre.
Avr. 19	20	— 3. 0	Jaune pâle.	Févr. 13	11. 12	2. 0	Orangé.
" "	20	— 3. 0	Jaune pâle.	Avr. 16	0. 2	2. 0	Or.
" "	20	— 3. 0	Orangé.	" "	0. 5	2. 0	Jaune pâle.
Sept. 5	4	— 2. 0	Jaune.	Févr. 13	10. 39	2. 30	Rose.
Avr. 19	21	— 2. 0	Jaune pâle.	" 1 ^{er}	11. 55	4. 30	Rouge éblouissant.
Oct. 13	9	— 1. 30	Or.	Sept. 11	1. 10	4. 50	Blanc (brunâtre).
Août 22	22. 7	— 1. 0	Blanc.	Mars 5	6. 5	5. 20	Semblables à l'aurore boréale.
" "	"	— 1. 0	Jaunâtre.	Févr. 1 ^{er}	10. 15	6. 40	Rouge éblouissant.
" "	22. 15	— 1. 0	Orangé rouge.	Sept. 20	2	7. 0	Blanc.
" 25	1. 30	— 0. 40	Orangé rouge.	Nov. 15	12. 40	7. 35	Blanc.
Mars 28	5. 5	— 0. 40	Blanc d'argent tirant sur le jaune.	Janv. 24	12. 5	7. 40	Blanc.
Oct. 20	10	— 0. 30	Faible orangé.	Sept. 20	1. 30	8. 0	Blanc.
" "	"	— 0. 30	Orangé.	" "	1	8. 30	Blanc.
Févr. 25	9. 25	— 0. 10	Orangé, Rouge-feu.	Févr. 1 ^{er}	8. 50	8. 50	Rouge éblouissant.
Août 23	0	0. 0	Blanc.	Sept. 20	1. 30	8. 55	Illuminés.
Févr. 25	9. 25	0. 15	Semblables à l'aurore boréale.	Nov. 1 ^{er}	7. 5	9. 25	Blanc (brunâtre).
Août 23	12	0. 40	Rose.	Mars 5	4. 5	11. 5	Semblables à l'aurore boréale.
Févr. 14	0. 30	0. 40	Rose.	Nov. 1 ^{er}	6. 59	11. 15	" " " "
Avr. 12	2	0. 50	Rose.	Mars 7	20. 5	11. 30	" " " "
Sept. 14	4	1. 0	Orangé.	Nov. 1 ^{er}	6. 44	12. 0	" " " "
" "	19	1. 0	Pourpre.	Mars 6	3. 25	12. 10	Illuminés.

Couleurs des nuages inférieurs.

DATE	HEURE	HAUTEUR du soleil	COULEUR DES NUAGES	DATE	HEURE	HAUTEUR du soleil	COULEUR DES NUAGES.
Sept. 20	16 ^h . 35 ^m	+ 4° 30'	Orangé.	Août 29	21 ^h . 20 ^m	0° 0'	Pourpre.
" "	16. 50	3. 0	Orangé.	Sept. 10	3. 45	— 0.10	Pourpre.
Avr. 19	20	3. 0	Orangé.	Févr. 17	12	— 0.20	Orangé, Rose.
Sept. 26	16. 30	2. 45	Orangé foncé.	" 21	10	— 0.30	Or.
Avr. 19	21	1. 0	Orangé.	Sept. 29	17. 6	— 0.30	Pourpre.
" 17	2. 45	1.30	Blanc-orangé.	Oct. 8	7	— 1.10	Jaune d'or.
" 22	22. 7	1. 0	Gris-violet.	Févr. 21	9. 30	— 1.10	Rouge vif.
" 23	22	1. 0	Rose.	Avr. 16	0. 5	— 2. 0	Pourpre.
Sept. 9	19. 15	1. 0	Rouge violet.	Mars 28	4. 5	— 2.20	Pourpre, orangé.
Août 25	1. 30	0.40	Gris violet.	Oct. 8	6. 30	— 2.40	Vermillon vif.
" 27	2	0.40	Gris brunâtre.	Mars 28	3. 54	— 2.40	Pourpre.
Mars 28	5. 5	0.40	Pourpre.	Nov. 10	13	— 6.40	Gris.
" "	5. 5	0.40	Or.	Janv. 28	1. 0	— 8. 0	A bords faiblement rougeâtres.
Oct. 20	10	0.30	Gris violet.	Nov. 24	13	— 10. 0	Sombres.
Sept. 9	19. 15	0.10	Rouge violet.	Oct. 25	18	— 14. 0	Eclairés.
" 10	3. 55	0.10	Rouge.				

On déduit de ces tableaux les moyennes suivantes pour l'apparition de chaque couleur différente

Couleurs des nuages supérieurs:(hauteur moyenne = 8800^{mètres})

COULEUR	HAUTEUR du soleil	NOMBRE d'observations
Orangé	+ 0° 47'	23
Rose	— 2. 42	10
Brun	— 7. 8?	2
Blanc	— 8. 53	14

Couleurs des nuages inférieurs:(hauteur moyenne = 2200^{mètres})

COULEUR	HAUTEUR du soleil	NOMBRE d'observations
Orangé	+ 1° 11'	11
Rose	— 0. 38	14
Brun	— 8. 0?	1
Blanc	— 10. 40?	2

En effet les nuages présentent au coucher du soleil deux illuminations successives: une première, éblouissante, produite par la lumière directe du soleil, une deuxième, brunâtre. Il est probable que cette dernière illumination est due à l'éclat produit par l'arc crépusculaire (de la lumière du soleil, réfléchi dans l'atmosphère). L'arc du crépuscule montre dans le spectroscope un spectre continu qui s'étend vers le rouge jusqu'à la longueur d'onde 6860, lorsque

le soleil est de 4° à 8° sous l'horizon, et jusqu'à la longueur d'onde 5930 lorsqu'il est de 10° à 12° sous l'horizon. Il y a donc dans le crépuscule une quantité suffisante de lumière orangée pour produire cette seconde illumination rougeâtre.

Il nous reste à parler des arcs roses dans le crépuscule (*Purpurlicht* des allemands). J'ai vu ce phénomène pour la première fois le 31 octobre, à 15^h . Alors un arc demi-circulaire apparaissait à l'ouest; le ciel au-dessous de cet arc était jaune, et tout près de l'horizon, il était orangé. Plus tard l'arc demi-circulaire s'abaissa en s'aplatissant, jusqu'à devenir à peu près parallèle à l'horizon. L'arc rose a pu être observé une seconde fois le 1^{er} novembre à $9^h 5^m$. Il formait alors un arc bas, assez éclatant. A $9^h 24^m$ le ciel s'est couvert, et les nuages ont caché le phénomène; à $9^h 46^m$ une lueur rose illuminait les neiges. Simultanément une tache rose assez élevée apparaissait dans le ciel; elle ressemblait beaucoup à des bandes de cirrus éclairées par le soleil.

L'arc rose apparut encore le 3 mars à $16^h 41^m$. Il formait une tache demi-circulaire reposant sur l'arc crépusculaire, à 30° ou 40° sur l'horizon. Cette tache s'abaissa rapidement, à $16^h 46^m$ sa hauteur était de 28° . Elle continuait de s'abaisser et son sommet se portait vers le nord avec le soleil.

Un autre phénomène observé pendant les mois de décembre et de janvier, ressemble un peu à l'arc rose. Le 17 décembre à $13^h 10^m$, je trouve dans mon carnet de notes l'observation suivante: «Le ciel au S.S.O. est orangé à l'horizon, jusqu'à une hauteur de $1^{\circ} 35'$, puis rose «jusqu'à $2^{\circ} 20'$ de hauteur (ceci est probablement le premier arc rose), jaune jusqu'à $2^{\circ} 45'$ «de hauteur, vert bleuâtre jusqu'à $4^{\circ} 45'$, enfin blanc bleuâtre tirant sur le violet jusqu'à « $5^{\circ} 45'$ (peut-être ceci est-il le second arc rose).» Cependant après la rédaction des observations, je crois fort probable que cette faible lueur violette n'était que la lueur pourprée qui apparaît au zénith lorsque le soleil est à huit degrés sous l'horizon (voyez plus haut). Le second arc rose n'a jamais été vu au cap Thorsen.

On a mesuré quelquefois la hauteur du bord supérieur de l'arc rose. Voici ces observations:

Hauteur de l'arc rose le plus fort:

DATE	HEURE	DÉPRES- sion du soleil	HAUTEUR de l'arc	DATE	HEURE	DÉPRES- sion du soleil	HAUTEUR de l'arc
Déc. 13	14^h	$14^{\circ} 0'$	$4^{\circ} 0'$	Nov. 1 ^{er}	$7^h 23^m$	$8^{\circ} 20'$	$5^{\circ} 43'$
Nov. 26	8	13.30	1.30	» »	9.24	4.10	13.3
» »	8.20^m	13.10	2.0	Mars 3	16.58	4.10	31.10
Déc. 17	13.10	12.50	2.20	Nov. 1 ^{er}	9.46	3.40	35.3
» »	10.5	12.40	3.5	» »	9.51	3.40	34.33
» 12	13	12.30	3.0	Mars 3	16.46	3.40	29.12
» 13	10.20	12.10	4.0	» »	16.41	3.30	40.0
» 1 ^{er}	9.15	12.0	1.30	» 12	17.38	2.50	34.47
Nov. 27	8	9.40	5.0	» »	17.35	2.40	17.7?
Janv. 21	11	8.30	1.0				

Les moyennes de ces observations sont indiquées dans le tableau suivant:

ANGLE de dépression du soleil	HAUTEUR de l'arc rose
13°.14'	2°.47'
10.12	3.13
3.55	28.17
3.10	30.17

Si l'on forme seulement deux groupes, on a:

ANGLE de dépression du soleil	HAUTEUR de l'arc rose
11°.43'	3°. 0'
3.33	29.17

On trouve, par une interpolation graphique, que l'arc rose atteint l'horizon lorsque la dépression du soleil est d'environ 14° (Valeur approximative). M. Liais a trouvé 11° 42' et M. de Bezold le 18 novembre 1863, 11° 40'. Si l'on calcule la hauteur au-dessus du sol de la couche réfléchissant la lumière du soleil, on la trouve, dans les deux cas, égale à 396 kilomètres, lorsque la dépression du soleil est de 11° 43', 53 kilomètres, lorsque la dépression est de 3° 33'.

Quant à la cause de cette lueur pourprée, je crois qu'elle est due simplement aux nuages minces et très élevés, éclairés par le soleil, puisque je la voyais quelquefois irrégulièrement disposée autour d'une verticale menée par le soleil.

Ces nuages sont très élevés dans l'atmosphère et forment un voile mince et uniforme. On dira peut-être que des halos solaires devraient alors apparaître si l'arc rose était formé par de tels nuages. L'eau ne pourrait-elle pas former de petits globules surfondus, ou des flocons de neige irréguliers? Est-il donc absolument nécessaire qu'elle forme des prismes ou feuilles régulières?

Les nuages présentent deux colorations successives, nous l'avons déjà dit, et la dernière de ces colorations est due à la lumière du crépuscule. Le deuxième arc rose qui a été vu quelquefois est formé, je crois, d'une manière semblable.

Le soleil s'est abaissé de cinq degrés entre le maximum du premier arc rose et du deuxième arc rose. Il s'abaisse d'environ le même angle entre l'apparition des deux arcs anti-crépusculaires, entre la disparition des deux arcs crépusculaires, et entre les deux colorations successives des strato-cumulus et des cirrus. — Tout parle en faveur de la supposition que le deuxième arc rose est dû à la lumière du crépuscule, de la même manière que le premier doit être attribué à la lumière directe du soleil.

Les phénomènes des arcs roses ont été décrits par MM. Liais, de Bezold, et Burkhart-Jetzler. Ce dernier a étudié ce phénomène à Bahia, située à 12° 30' de latitude sud, et à 40° 42' de longitude à l'ouest de Paris. Ses descriptions un peu embrouillées nous fournissent pourtant les renseignements suivants:¹

¹ M. Burkhart-Jetzler indique seulement pour chaque phénomène du crépuscule l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre le coucher du soleil et leur apparition. J'ai calculé d'après cela l'angle de dépression du soleil, en me servant de la position du soleil aux équinoxes.

DÉPRESSION
du soleil

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

4°. 2'	Les étoiles de la troisième grandeur sont visibles. La couleur du ciel au zénith est violette. La hauteur de l'arc anticrépusculaire est de 40 à 55 degrés.
5°.30'	Les couleurs du ciel occidental sont les suivantes: le violet, un faible bleu, le vert, le jaune, l'orangé. (Premier arc rose?)
5°.54'	Une lueur pourprée apparaît à l'est.
7°. 5'	La hauteur de l'arc crépusculaire est de 15°. La lueur pourprée dans le ciel oriental passe par le zénith.
8°.18'	L'arc crépusculaire est d'un blanc éblouissant.
10°.45'	Le ciel occidental est le plus éclatant. (Seconde arc rose?)
16°.50'	Les zones colorées à l'ouest disparaissent.
21°.56'	Une lueur jaunâtre persiste encore à l'horizon.
29°.13'	Une lueur blanchâtre reste jusqu'à cette heure.

Résumons brièvement les résultats auxquels nous sommes parvenus.

Lorsque le soleil est à 4° 23' sous l'horizon, il y a un arc crépusculaire à l'ouest à une hauteur de 32° 11'. Un arc rose apparaît dans la partie supérieure de cet arc; sa hauteur est de 29° 17' lorsque la dépression du soleil est de 3° 33'. Il s'abaisse successivement et l'arc rose atteint l'horizon lorsque la dépression du soleil est de 14° (valeur approximative).

Lorsque le soleil est encore à 0° 30' au-dessus de l'horizon, l'arc anticrépusculaire commence à monter. Il s'élève de plus en plus, d'abord lentement, puis avec une grande rapidité. Il passe au zénith lorsque le soleil est à 7° 26' sous l'horizon (Maximum de la lueur pourprée au zénith). Des observations d'une autre espèce, nous disent qu'il a dépassé de 35° 39' le zénith, lorsque la dépression du soleil est de 6° 14'. Puis il s'abaisse vers l'ouest et se transforme en second arc crépusculaire. Le second arc rose n'a pas été vu au cap Thordsen. Le second arc crépusculaire va mourir à l'horizon lorsque le soleil est à 17° 40' sous l'horizon. Le deuxième arc anticrépusculaire s'élève déjà à une dépression du soleil au-dessous de l'horizon égale à 5° 50'.

Ajoutons que les arcs roses sont extrêmement faibles dans le Spitzberg. Ils sont beaucoup plus éclatants à Upsal. D'après les observations de M. Gérard De Geer, ils ont encore plus d'éclat à Paris et en Hollande. M. de Bezold les a vus aussi à Munich et dans les Alpes. Dans les pays du midi, ils sont magnifiques et attirent l'attention de tous les voyageurs. Ces faits viennent appuyer l'opinion qu'ils sont dus à de petites aiguilles de glace flottant dans l'atmosphère. La couche qui réfléchit la lumière du soleil est à une hauteur d'environ 10000 mètres au-dessus du sol. On a beaucoup exagéré la hauteur du phénomène en supposant que le deuxième arc rose était éclairé par la lumière directe du soleil, mais il ne l'est probablement pas.

SECONDE PARTIE

PHÉNOMÈNES DE RÉFRACTION, DE RÉFLEXION ET D'INTERFÉRENCE

Les halos lunaires ont été observés 61 fois pendant notre hivernage: en octobre 7 fois, en novembre 8, en décembre 31, en janvier 11, en février 4. Ils sont le plus fréquents en décembre.

Les halos solaires ont été observés 72 fois, en septembre 1 fois, en octobre 1, en février 1, en mars 12, en avril 28, en mai 19 en juin 9. Ils sont le plus fréquents en avril. On les a notés 70 fois pendant le printemps, et 2 fois seulement pendant l'automne.

On a noté également la nature des nuages au moment de l'observations des halos, des parhélies, des colonnes verticales. Je trouve que ces phénomènes se sont montrés dans les cirrostratus 65 fois, dans les cirrus 2 fois, par un ciel clair 3 fois, dans les nimbus 3 fois, par un ciel brumeux 4 fois, dans la brume de glace 7 fois, par un ciel uniformément couvert 1 fois, dans le chasse-neige 1 fois. Par conséquent, ils ont été vus dans les nuages supérieurs 67 fois, ou dans la proportion de 77 pour cent, et dans les nuages inférieurs 19 fois, soit 23 pour cent.

J'ai mesuré dans plusieurs cas, le diamètre des halos:

Le 29 mars. Parhélie. Rayon de l'anneau rouge $21^{\circ} 47'$ (moyenne de 6 observations); hauteur du soleil sur l'horizon $14^{\circ} 43'$.

Le 3 avril. Halo elliptique. Rayon vertical $21^{\circ} 46'$ (moyenne de 12 observations), rayon horizontal $22^{\circ} 6'$ (moyenne de 12 observations). Hauteur du soleil $12^{\circ} 0'$.

Le 3 avril. Parhélie. Hauteur $11^{\circ} 40'$ (moyenne de 6 observations). Hauteur du soleil $11^{\circ} 39'$.

Le 10 avril. Halo de 46° . Rayon du halo $46^{\circ} 5'$ (moyenne de deux observations, l'une sur le bord intérieur, l'autre sur le bord extérieur).

Le 10 avril. Halo. Rayon de la couleur rouge $21^{\circ} 17'$ (2 observations), celui de la couleur violette $23^{\circ} 29'$ (2 observations). Moyenne $22^{\circ} 23'$.

Le 15 avril. Halo. Rayon vertical $21^{\circ} 20'$ (6 observations), rayon horizontal $21^{\circ} 51'$ (6 observations). Moyenne $21^{\circ} 36'$ (rayon de la couleur rouge).

Le 17 avril. Halo. Rayon vertical du point situé juste au-dessus du soleil $22^{\circ} 4'$ (6 observations), rayon des points situés à la même hauteur que le soleil $21^{\circ} 51'$ (8 observations), rayon du point situé au-dessous du soleil $22^{\circ} 14'$ (5 observations). Moyenne $22^{\circ} 1'$ (19 observations sur l'anneau rouge).

Voici tous les relèvements sur le bord rouge du halo:

RAYON	NOMBRE d'observations
$21^{\circ} 47'$	6
$21^{\circ} 46'$	12
$22^{\circ} 6'$	12
$21^{\circ} 17'$	2
$21^{\circ} 36'$	12
$22^{\circ} 1'$	19
Moy. génér. $21^{\circ} 51'$	65.

Le rayon de l'anneau rouge est de $21^{\circ} 37'$, selon la théorie.

L'arc-en-ciel n'a été vu que quatre fois: le 30 juillet 1882 (à 24^{h}), le 23 août 1882 (à $21^{\text{h}} 27^{\text{m}}$), le 17 août 1883 (à 4^{h}) et le 25 août de la même année (au soir).

En revanche, on a vu plusieurs fois l'arc-en-ciel blanc. Il a été observé pour la première fois le 17 mars à midi. Au début, il ressemblait à une mince strie blanche de cirro-stratus. Plus tard il s'accrut en éclat, et se colora en même temps; le bord inférieur était d'un blanc bleuâtre, le blanc tenait le milieu, l'ocre jaune, venait ensuite, enfin, le violet rouge était au bord extérieur.

Un second arc, plus étroit, apparut alors en dedans du premier; il était rouge au bord intérieur et vert au bord extérieur, et n'était séparé de l'anneau extérieur que par un petit

intervalle. Plus tard, encore un troisième anneau semblable, mais encore plus étroit, fit son apparition. M. Gyllencreutz a vu avec moi, tous ces phénomènes.

J'ai mesuré les rayons des trois anneaux et j'ai trouvé les valeurs suivantes: Bord extérieur de l'anneau large $41^{\circ} 4' \pm 15',5$, bord intérieur $37^{\circ} 19' \pm 7',5$; bord extérieur de l'anneau du milieu $35^{\circ} 24' \pm 12',5$, bord intérieur $33^{\circ} 34' \pm 11',5$; bord extérieur de l'anneau intérieur $32^{\circ} 55' \pm 6',7$, bord intérieur $31^{\circ} 25' \pm 9',4$. La largeur de l'anneau extérieur était de $3^{\circ} 45'$, celle de l'anneau du milieu $1^{\circ} 50'$, celle de l'anneau intérieur $1^{\circ} 30'$.

Les 9 et 10 juin, on a revu l'arc-en-ciel blanc. Voici les mesures des rayons des bords intérieur et extérieur, ainsi que la largeur de l'arc:

HEURE	RAYON du bord intérieur	RAYON du bord extérieur	RAYON moyen	LARGEUR	NOMBRE d'observation
10 ^h . 2 ^m . 6 ^s —10 ^h . 11 ^m . 21 ^s .....	...	...	37.43'	...	10
10 . 20 . 36 — 10 . 30 . 10	35.11'	39. 6'	37. 9	3.55'	14
11 . 13 . 26 — 11 . 27 . 20	36.24	39.18	37.51	2.54	24
0 . 48 . 35 — 1 . 4 . 53	37. 8	41.15	39.12	4. 7	23
1 . 13 . 13 — 1 . 43 . 0	37. 1	42. 4	39.33	5. 3	14

Si l'on forme seulement deux groupes, on a:

DATE	RAYON du bord intérieur	RAYON du bord extérieur	RAYON moyen	LARGEUR	NOMBRE d'observation
9 juin	35.57'	39.13'	37.35'	3.16'	38
10 juin	37.10	41.34	39.22	4.24	37
Moyenne	36.34'	40.24'	38.29'	3.50'	75

Le 9 juillet l'arc-en-ciel blanc apparaissait encore une fois. Le rayon du bord intérieur était $37^{\circ} 46' \pm 29',6$, le rayon du bord extérieur $41^{\circ} 16' \pm 9',3$. Le rayon moyen est de $39^{\circ} 31'$, la largeur est de $3^{\circ} 30'$ (8 observations).

La moyenne de toutes ces observations est de $38^{\circ} 55'$ pour le rayon, $3^{\circ} 47'$ pour la largeur.

L'explication la plus plausible de l'arc-en-ciel blanc consiste, selon M. Verdet, à le considérer comme produit par des gouttes d'eau extrêmement fines. La théorie de M. Airy montre en effet que l'écart entre la position réelle du premier arc-en-ciel et celle que lui assigne la théorie élémentaire, augmente à mesure que le diamètre des gouttes diminue. Quant à l'absence de coloration, elle tient en partie au peu d'intensité de la lumière que réfléchissent des gouttes très-petites, mais elle s'explique surtout par l'existence de gouttes de diamètres différents, donnant lieu à des arcs dont les dimensions angulaires ne sont pas les mêmes: ces arcs se superposant, doivent en effet produire une bande sensiblement blanche, sauf sur les bords.¹

¹ VERDET, *Optique physique*, Paris 1869, t. I, p. 422.

Le changement du rayon de l'arc-en-ciel blanc des 9 et 10 juin prouve que le diamètre des gouttes d'eau s'est accru en même temps que la brume s'est épaissie et que le sol se couvrait de gelée blanche.

M. Bravais a essayé d'expliquer l'arc-en-ciel blanc en admettant la présence dans l'atmosphère de gouttes d'eau creuses, dont l'enveloppe aurait une épaisseur comparable au rayon de la cavité intérieure.¹ Il résulte de cette théorie, que l'arc blanc ne doit pas offrir les franges connues sous le nom d'*arcs surnuméraires*. En effet, l'interférence ne peut se faire qu'autant que deux faisceaux distincts de rayons lumineux se pénètrent et se croisent mutuellement: or, dans la théorie de M. Bravais, celui des rayons à incidence moindre que celle qui correspond à la déviation minimum est complètement supprimé par l'action dirimante de la surface de la sphère interne.

Cependant, j'ai observé très distinctement deux arcs surnuméraires dans l'arc blanc du 17 mars. Il résulte de là une objection assez grave contre l'hypothèse de M. Bravais. Dans la théorie de M. Airy on prouve que les arcs surnuméraires sont d'autant plus écartés les uns des autres que les gouttes sont plus fines, et que l'écart entre la déviation du premier arc-en-ciel et celle des rayons efficaces est plus considérable. Ce résultat s'accorde beaucoup mieux avec les phénomènes observés par nous.

Voici le nombre des cas où les couronnes solaires et les nuages irisés dans le voisinage du soleil se sont présentés à nous pendant les différents mois de l'année.

Nous donnons encore ci-dessous le nombre de cas où les couronnes lunaires et les nuages irisés autour de la lune se sont présentés à nous pendant les différents mois de l'année:

	NOMBRE de couronnes solaires	NOMBRE de nuages irisés autour du soleil	TOTAL
Mars	1	8	9
Avril	5	9	14
Mai	4	8	12
Juin	0	4	4
Juillet	1	0	1
Août	1	11	12
Sept.	5	4	9
Oct.	5	1	1
Total	17	45	62

	NOMBRE de couronnes lunaires	NOMBRE de nuages irisés autour de la lune	TOTAL
Oct.	13	0	13
Nov.	20	3	23
Déc.	12	3	15
Janv.	3	0	3
Févr.	31	2	15
Total	61	8	69

¹ *Journal de l'École polytechnique*, t. XVIII, cahier 31, p. 97.

On a noté l'espèce de nuages correspondant à ces deux phénomènes; en voici le résultat

FORMES DE NUAGES	NOMBRE de nuages irisés	NOMBRE de couronnes
Cirrus.....	1	1
Cirro-stratus.....	4	6
Cirro-cumulus.....	9	4
Alto-cumulus.....	9	10
Strato-cumulus.....	11	20
Nimbus.....	3	5
Ciel clair.....	0	3
Chasse-neige.....	0	2
Brume.....	0	1
Nuages supérieurs.....	23	21
» inférieurs.....	14	31

Les couronnes se montrent principalement dans les nuages plus épais (61 fois sur cent) les nuages irisés sont, dans la plupart des cas, des nuages minces (62 fois sur cent). La théorie de la diffraction exige que la distance d'une certaine couleur au soleil soit plus considérable à mesure que les particules de matière qui l'engendrent sont plus petites, si la couleur est de même ordre dans les deux cas.

On a mesuré plusieurs fois le diamètre de la couronne, et l'on a trouvé:

DATE	HEURE	DIAMÈTRE angulaire de la couronne	COULEUR
Oct. 29.....	2 ^h . 52 ^m	1° 30'	Jaune.
Nov. 28.....	21. 50	3. 30	»
Dec. 21.....	1	1. 15	»
» 26.....	21	1. 45	»
» 27.....	2	0. 45	»
»	21	0. 30	»
Janv. 19.....	23	1. 30	Rouge.
Févr. 13.....	8. 6	0. 48	Jaune.
» 17.....	17	1. 30	Rouge.

Ce diamètre varie sensiblement; le 27 décembre, il n'était que de 0° 30', le 28 novembre il était de 3° 30'; la moyenne est de 1° 27' (obtenue sur neuf observations).

La couronne se confond souvent avec les nuages irisés. En voici un exemple: Le 19 mars, quelques strato-cumulus ayant les bords minces et blancs se montraient sur le ciel austral. Une couronne solaire apparaissait dans ce bord de nuages de 3° de diamètre, et coloré de la manière habituelle, blanc bleuâtre en dedans, ocre jaune au milieu, pourpré en dehors. Cette couronne devint irrégulière dans les bords les plus minces des nuages; d'une manière générale les anneaux colorés gardaient sa forme circulaire. A une plus grande distance du soleil, les nuages étaient irisés, et les anneaux colorés suivaient chaque détail du contour des nuages; seulement si le nuage était très-mince et très uniforme, ils étaient faiblement arqués autour

du soleil. Le rose et le vert émeraude étaient les couleurs les plus vives; la couleur ocre jaune apparaissait quelquefois entre ces deux nuances. Les nuages les plus minces présentent les anneaux colorés les plus larges; dans les nuages plus épais, les anneaux sont plus étroits.

M. Rubenson dit que les nuages irisés sont évidemment une couronne irrégulière¹. En effet, soit α la distance angulaire d'un point du nuage au soleil, d le diamètre des vésicules formant le nuage, λ la longueur d'onde d'une certaine couleur, on a l'équation suivante:

$$\sin \alpha = i \frac{\lambda}{2d},$$

où i est un nombre quelconque entier et positif. Les valeurs de α qu'on obtient en faisant i un nombre impair correspondent aux maxima de lumière de la couleur en question, les valeurs qu'on obtient en faisant i un nombre pair correspondent aux minima de lumière. Si l'on différencie cette formule en faisant varier à la fois α , d et λ , on obtient

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{dd}{d} + \frac{d\alpha}{\tan \alpha}.$$

Les changements de couleur qu'on observe, si l'on se transporte d'un point du nuage à un autre point, dépendent à la fois du changement de la distance angulaire au soleil et du changement de grandeur des globules du nuage. Ils dépendent principalement du changement de la distance du soleil, lorsque $\tan \alpha$ est petit ou si la distance du soleil est petite. Au contraire, ils dépendent surtout de la grandeur des globules, lorsque $\tan \alpha$ est grand ou si la distance du soleil est grande.

Nos notes originales contiennent plusieurs observations sur lesquelles la distance du nuage irisé au soleil a été estimée, ou relevée; on peut donc la calculer d'après la position du soleil. Le tableau ci-dessous contient les résultats obtenus. La lettre M signifie que les positions du nuage irisé et du soleil ont été relevées, E que la position du nuage a été estimée, \odot que la position du soleil a été calculée.

DATE	HEURE	DISTANCE du nuage irisé au soleil	MÉTHODE de mesure	DATE	HEURE	DISTANCE du nuage irisé au soleil	MÉTHODE de mesure
Août 19	18 ^h . 20 ^m	2.49'	\odot E	Déc. 26	19 ^h . 55 ^m	5.45'	M
" 20	16. 51	4.40	M	" "	19. 55	7.48	M
" "	16. 52	5. 3	M	Mars 28	5. 5	3.28	\odot E
" "	16. 54	1.36	M	" 29	9. 13	10. 0	E
" "	16. 54	3. 3	M	" "	9. 13	31. 0	E
" "	16. 59	9.37	M	" "	14. 3	3. 0	E
" "	16. 59	4.50	M	" "	14. 3	15. 0	E
" "	17. 0	6.32	M	" "	14. 3	2.40	M
" "	17. 0	6.16	M	" "	14. 3	6. 5	M
" "	17. 2	3.40	M	Avr. 6	11	15. 0	E
" "	17. 2	4.32	M	" 14	13. 5	13. 0	E
" "	17. 3	1.26	M	" 26	0. 2	10. 4	\odot E
" "	17. 6	3.28	M	" "	19. 21	11.48	\odot E
Nov. 28	21. 50	3. 0	E	" "	19. 21	16.48	\odot E
" "	21. 50	4. 0	E	Mai 2	22. 20	35.25	\odot E
Déc. 26	19. 30	4.40	M	" 8	23. 7	19.15	\odot E
" "	19. 50	3.33	M	Juin 22	8. 5	3. 0	M
" "	19. 55	5.50	M	" "	8. 5	3. 0	M

¹ *Observations météorologiques horaires exécutées pendant les années 1865-1868 par une société d'étudiants à Upsal sous la direction de M. R. Rubenson. Voir l'appendice, p. 284.*

La distance la plus courte est de $1^{\circ} 26'$, la plus grande est de $35^{\circ} 25'$, la distance moyenne est de $8^{\circ} 13'$ (moyenne de 36 observations). Le rayon de la couronne varie de $0^{\circ} 30'$ à $3^{\circ} 30'$, il est en moyenne $1^{\circ} 27'$. Ces faits s'accordent donc très bien avec les résultats de la théorie.

Les couleurs des nuages irisés sont généralement le rose et le vert émeraude. Si le nuage irisé est coloré en orangé par le soleil couchant, ces couleurs se changent en vert jaunâtre et rouge-orangé.¹ Si le bord du nuage mince se projette sur le ciel d'azur, les couleurs se changent en violet et en vert-bleuâtre.²

Un accroissement de la distance du soleil, ou un décroissement de la grandeur des globules qui composent le nuage, ont la même influence sur le changement de couleur. Un accroissement de la distance du soleil dans la couronne autour de l'astre, fait passer la couleur du blanc-bleuâtre à l'orangé, au pourpre, au violet-bleu jusqu'au vert-bleuâtre. Cet ordre de succession des couleurs correspond donc dans les nuages irisés à un déplacement des particules plus grandes à des particules plus petites. On peut savoir de cette manière, d'après nos dessins, nos peintures, nos descriptions en quel point du nuage les particules sont les plus petites. Je trouve onze cas où elles ont été le plus petites au bord du nuage³, et trois cas seulement où elles ont été plus petites à l'intérieur du nuage qu'au bord.⁴ Ces derniers cas doivent, je crois, être attribués aux fautes inévitables d'observations; en effet il est souvent difficile de distinguer si l'anneau étroit qui sépare les anneaux plus larges du rouge et du vert tire sur le jaune, ou sur le bleu.

II.

ÉTOILES FILANTES.

Vingt-huit étoiles filantes ont été remarquées pendant notre hivernage, mais seulement par hasard. Pour déterminer leurs positions, on a eu recours à la simple description (*), aux grandes cartes célestes (C), aux petites cartes (c), au dessin (D) ou à l'estime (E). Le tableau ci-dessous contient l'ascension droite et la déclinaison du point d'apparition et du point de disparition de chaque étoile filante. La position de l'observatoire était $78^{\circ} 28' 27''$ de latitude nord et $1^{\text{h}} 2^{\text{m}} 49^{\text{s}}$ de longitude est de Greenwich. Le temps employé était $23^{\text{m}} 28^{\text{s}}$ en retard sur le temps local de l'observatoire. La journée est comptée de minuit à minuit de 0^{h} à 24^{h} . Les observateurs étaient MM. Gyllenskiöld, Andrée, Ekholm et Stjernspetz, désignés respectivement dans le tableau par C.-G., Aée, Em et Sz.

Sur les vingt-huit étoiles filantes, douze ont été vues entre 21^{h} et 24^{h} , probablement parce que l'aurore boréale attirait alors plus spécialement l'attention de l'observateur sur les phénomènes du ciel étoilé.

¹ 25 mars $5^{\text{h}} 5^{\text{m}}$, 26 avril $0^{\text{h}} 2^{\text{m}}$.

² 19 mars, 22 juin $23^{\text{h}} 5^{\text{m}}$.

³ 20 août, 25 août $4^{\text{h}} 15^{\text{m}}$ — $4^{\text{h}} 23^{\text{m}}$, $21^{\text{h}} 50^{\text{m}}$, 26 août $10^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, 23 novembre 1^{h} , 29 novembre 0^{h} , 29 mars $14^{\text{h}} 3^{\text{m}}$, $14^{\text{h}} 6^{\text{m}}$, $14^{\text{h}} 9^{\text{m}}$, 29 avril $19^{\text{h}} 21^{\text{m}}$, 8 mai $23^{\text{h}} 7^{\text{m}}$.

⁴ 10 octobre $11^{\text{h}} 4^{\text{m}}$, 29 mars $9^{\text{h}} 10^{\text{m}}$, 22 juin $8^{\text{h}} 5^{\text{m}}$.

Tableau des positions, sur la sphère céleste, des trajectoires des étoiles filantes observées au cap Thorsden pendant les années 1882 et 1883:

N°	DATE	HEURE	POINT DE DÉPART		POINT DE FUITE		MÉ- thode	OBSERVA- teur
			Ascension droite	Déclinaison	Ascension droite	Déclinaison		
1	Oct. 20.....	1 ^h . 6 ^m	17 ^h . 39 ^m	53° 50'	17 ^h . 15 ^m	25° 50'	* E	Aée
2	" 31.....	4. 55	4. 47	23. 0	3. 32	15. 50	C	C.-G.
3	Nov. 7.....	4. 9	5. 29	9. 52	4. 48	2. 14	*	C.-G.
4	Déc. 1 ^{er}	16. 3	21. 17	14. 0	20. 0	— 3. 0	c	C.-G.
5	" 3.....	22. 14	2. 3	64. 0	0. 55	53. 50	c	Aée
6	" 11.....	16. 49	7. 41	34. 0	7. 20	26. 20	C	C.-G.
7	" ".....	16. 50	3. 33	48. 30	2. 3	44. 20	C	C.-G.
8	" ".....	19. 0	4. 52	40. 40	3. 37	26. 50	C	C.-G.
9	" ".....	21. 25	5. 22	45. 30	1. 40	12. 20	C	C.-G.
10	" ".....	22. 45	18. 37	46. 20	10. 25	37. 20	C	C.-G.
11	" ".....	22. 57	1. 35	13. 30	0. 43	7. 0	C	C.-G.
12	" 12.....	0. 23	6. 8	33. 0	7. 49	19. 40	C	C.-G.
13	" ".....	17. 25	6. 25	18. 30	6. 55	9. 0	C	C.-G.
14	" ".....	17. 30	23. 59	25. 20	23. 2	19. 50	C	C.-G.
15	" ".....	19. 0	3. 2	49. 0	21. 12	40. 0	c	Em
16	" 16.....	7. 58	5. 55	41. 30	4. 43	32. 10	C	C.-G.
17	" 17.....	12. 6	19. 51	9. 30	18. 28	0. 30	C	C.-G.
18	Janv. 2.....	2. 0	14. 3	42. 0	14. 21	28. 0	c	C.-G.
19	" ".....	2. 47	6. 48	54. 0	5. 51	44. 0	c	C.-G.
20	" ".....	14. 30	10. 52	74. 10	7. 33	50. 0	C	C.-G.
21	" ".....	15. 7	6. 42	73. 40	5. 31	58. 20	C	C.-G.
22	" ".....	22. 17. 27	21. 21	60. 0	22. 39	45. 0	c	C.-G.
23	" ".....	22. 31. 27	11. 17	23. 0	10. 25	19. 0	c	C.-G.
24	" ".....	22. 33. 27	5. 29	58. 0	5. 37	37. 0	c	C.-G.
25	" ".....	22. 40. 27	10. 14	22. 0	9. 40	14. 0	D	C.-G.
26	" 6.....	22. 6	9. 28	70. 0	9. 45	60. 0	C	C.-G.
27	" 8.....	9. 5	12. 43	38. 0	11. 28	32. 0	c	Sz
28	Mars 10.....	20	14. 11	42. 30	14. 38	29. 0	C	C.-G.

REMARQUES:

1 Une étoile filante a été vue descendant presque verticalement du Dragon (J'ai supposé que c'était de la tête de cette constellation. Temps sidéral 2^h 35^m 58^s.)

2 Étoile filante.

3 On a vu une étoile filante d'un rouge vif passant de λ à α Orion.

4 Étoile filante d'un blanc brillant, elle se meut lentement.

5 Étoile filante.

6 . . .

7 . . .

8 . . .

9 Elle était blanc bleu, avec une queue rouge et une fumée blanche. Elle paraissait comme une boule qui éclate en une foule de petits grains rouges.

10 L'heure est approximative.

11 . . .

12 Elle se meut lentement.

13 Étoile filante blanche, elle tombe lentement.

14 L'étoile filante se meut avec la rapidité de l'éclair.

15 Grand météore fortement lumineux, traînant une queue après lui.

16 . . .

17 Étoile filante blanche. Elle se meut de plus en plus lentement et l'éclat s'affaiblit en même temps. Le point de disparition est à l'azimut 173° 40', hauteur 13° 35'. (L'azimut est compté du N. par l'E.)

18 Étoile filante.

19 L'étoile filante s'est réduite en plusieurs pierres plus petites.

20 Étoile filante.

21 . . .

22 . . .

23 Étoile filante.

24 . . .

25 Étoile filante.

26 Étoile filante.

27 Étoile filante.

28 L'heure est indiquée approximativement. Étoile filante.

III.

NOTE SUR LE SPECTRE

DE LA LUMIÈRE QUI ÉMANE DE CERTAINS CRUSTACÉS APPARTENANT
A L'ORDRE DES COPÉPODES.

La mer glaciale offre pendant la nuit polaire une phosphorescence remarquable, due à de petits crustacés, appartenant à l'ordre des Copépodes.

J'ai recueilli quelques-uns de ces petits crustacés, et j'en ai analysé la lumière au spectroscope Wrede. Le spectre de cette lumière était continu et s'étendait entre les longueurs d'onde 4396 et 5787 dix-millionièmes d'un millimètre.¹

IV.

OBSERVATIONS

SUR L'ACCROISSEMENT DES BRINS DE L'ORGE ET DE L'AVOINE, ET SUR L'ACTION
CHIMIQUE DU SOLEIL, DÉTERMINÉE A L'AIDE DE L'HÉLIOMÈTRE
DE M. CRONANDER.

Pendant le séjour de l'expédition suédoise au cap Thordsen, on a fait quelques observations en vue de déterminer l'influence de la lumière du soleil et de la température sur les phénomènes de la végétation.

J'ai semé, le 10 juin 1883, en pleine terre, de l'orge et de l'avoine de Suède. La longueur des brins a été mesurée tous les cinq jours depuis le 19 juillet jusqu'au 18 août. En même temps j'ai exposé à l'action du soleil un héliomètre construit par M. Cronander. On a cherché à déterminer à l'aide de cet instrument l'action chimique de la lumière du soleil. Celle-ci a été mesurée par le poids du précipité qui se produit sous son influence, dans une solution de deuto-chlorure de mercure et d'oxalate d'ammoniaque. Ce précipité était pesé, et la solution renouvelée tous les cinq jours.

¹ M. Piazzi Smyth a analysé la lumière phosphorescente de l'Atlantique près de Gibraltar. Le spectre s'étendait de 4860 à 5450; il était le plus fort à 5050. (Voir les *Edinburgh Astronomical Observations*, t. XIV, années 1870—1877, planche 13.)

L'héliomètre se compose d'une cuvette de verre hémisphérique de 47 centimètres de rayon. Un morceau de bois l'enveloppe en laissant sa surface ouverte et horizontale. La cuvette est remplie de 100 centimètres cubes d'eau saturée de deuto-chlorure de mercure et de 100 centimètres cubes de solution d'oxalate d'ammoniaque (contenant 17,08 grammes d'oxalate par litre d'eau pure). On plaçait au-dessus une plaque de laiton munie d'une ouverture circulaire de 14,5 centimètres de diamètre. Une mince plaque de verre couvrant cette ouverture empêchait la pluie et la neige de pénétrer dans l'intérieur de l'appareil.

Les expériences n'ont pas été prolongées, au delà du 18 août. J'ai pesé ce jour un certain nombre de brins d'orge et d'avoine. Cinquante brins d'orge pesaient 38^{gmes}, chaque brin pesait donc 0^{gme},76. Vingt-cinq brins d'avoine pesaient 7^{gmes},5 chaque brin pesait donc 0^{gme},30.

Voici les longueurs mesurées de l'orge et de l'avoine:

DATE	LONGUEUR DES BRINS		ACCROISSEMENT en longueur	
	d'orge	d'avoine	de l'orge	de l'avoine
19 juillet	8,5 centim.	5,8 centim.	...	...
24 "	9,5 "	6,0 "	1,0 centim.	0,2 centim.
29 "	10,3 "	7,3 "	0,8 "	1,3 "
4 août	11,0 "	8,2 "	0,7 "	0,9 "
8 "	12,4 "	9,3 "	1,4 "	1,1 "
14 "	15,6 "	11,4 "	3,2 "	2,1 "
19 "	16,8 "	12,0 "	1,2 "	0,6 "

* L'orge a été endommagée par la gelée.

Comparant ces chiffres avec le poids du précipité tombé dans l'héliomètre et avec la température moyenne de l'air, on obtient le tableau suivant:

ÉPOQUE	ACCROISSEMENT moyen de longueur	POIDS du précipité	TEMPÉRATURE moyenne de l'air
19-24 juillet	0,6 centim.	1 ^{gme} ,68	+ 3,5
24-29 "	1,1 "	1 ,65	5,4
29-35 "	0,8 "	1 ,14	7,8
4-8 Août	1,3 "	1 ,19	8,2
8-14 "	2,7 "	1 ,28	3,3
14-19 "	0,9 "	1 ,07	4,0

La température de l'air semble, plutôt que l'action chimique du soleil, déterminer l'accroissement de l'orge et de l'avoine, mais son influence ne devient sensible qu'au bout de cinq jours.

Erratum:

Page 2, ligne 6 en remontant, dans la formule \odot doit être substitué à $\frac{1}{2} \odot$.

" 3, lignes 3-8, les nombres de la troisième colonne du tableau doivent être: 61,2; 56,8; 55,3; 47,0; 39,5; 21,8.