

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

A. CORNU

Sur le spectre normal du Soleil, partie ultra-violette

Annales scientifiques de l'É.N.S. 2^e série, tome 3 (1874), p. 421-434

http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1874_2_3__421_0

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1874, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

SUR LE
SPECTRE NORMAL DU SOLEIL,
PARTIE ULTRA-VIOLETTE,

PAR M. A. CORNU,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

Tous les physiciens connaissent la belle description des raies sombres du spectre solaire de M. Angström et les planches remarquables qui résument ce travail; outre leurs qualités de précision et de netteté, ces belles planches ont un autre mérite, celui de conduire les physiciens et les astronomes à adopter l'échelle des longueurs d'onde, pour la définition des raies et des radiations, au lieu des échelles arbitraires introduites par les premiers spectroscopistes.

Le Mémoire de M. Angström ne s'étend qu'au spectre visible. Je me suis proposé de compléter ce travail par l'étude du spectre dans la partie ultra-violette, jusqu'à la limite à laquelle on parvient avec les instruments d'optique en usage dans les laboratoires, et de composer une planche faisant suite à celle de M. Angström, c'est-à-dire classant suivant l'échelle des longueurs d'onde les raies sombres du spectre ultra-violet.

J'ai eu pour me guider dans ce travail, entrepris d'ailleurs en vue de recherches de Physique solaire ⁽¹⁾, outre les Mémoires de M. Ed. Becquerel, la thèse de M. Mascart. Ce travail, le plus complet jusqu'à ce jour, renferme une description détaillée du spectre ultra-violet, obtenu par la photographie; les raies sont classées d'après leurs déviations produites par le prisme employé et représentées par une planche qui résume toutes les mesures; mais cette planche, outre l'inconvénient de l'emploi d'une échelle arbitraire, a le défaut de rendre imparfaitement

⁽¹⁾ Voir les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXIII, p. 332; juillet 1871.

l'effet des groupes de raies, de sorte qu'il est très-difficile d'établir la concordance des raies avec les épreuves photographiques (1).

Dans le travail que je présente aujourd'hui (2), j'ai cherché, indépendamment de la classification plus rationnelle des raies, à représenter le plus fidèlement qu'il m'a été possible de le faire l'aspect général des groupes, afin de faciliter aux physiciens l'établissement de cette concordance, capitale dans les études spectroscopiques.

Je n'ai pas poussé l'étude du spectre ultra-violet aussi loin que M. Mascart, parce que j'ai tenu à conserver les appareils ordinaires des laboratoires, dont les objectifs en crown et flint-glass absorbent les radiations très-réfrangibles, mais qui sont, ainsi qu'on va le voir, d'un maniement plus facile que les appareils en quartz. Toutefois, j'ai pu constater que dans cette étude du spectre ultra-violet on pouvait, avec ces appareils, aller notablement plus loin qu'on ne le croyait généralement. En effet, l'absorption due aux objectifs n'empêche pas de photographier les raies ultra-violettes jusqu'à P et même jusqu'à Q (notations de M. Ed. Becquerel et de M. Mascart) dans un spectre de diffraction : avec un prisme de spath d'Islande, on atteint la raie P ; avec un prisme de flint ordinaire, la raie O.

L'emploi des objectifs achromatiques des goniomètres ou des spectroscopes présente un avantage considérable sur celui des objectifs de quartz ; la variation de foyer des divers rayons est très-petite, et le champ angulaire dans lequel la netteté reste suffisante est relativement très-grande.

Il en résulte que, dans des recherches courantes sur les radiations chimiques où l'on n'aurait pas besoin d'aller jusqu'à la limite des raies observables, on a tout avantage à employer les objectifs achromatiques ordinaires : ainsi, avec un bon goniomètre dont les lunettes ont 30 à

(1) Il ne faudrait pas croire que le *renversement*, c'est-à-dire l'apparence négative des clichés, soit gênant ; après quelques minutes d'observation, on compare très-bien une épreuve négative à un dessin positif : on se guide sur la forme et l'intensité relative des groupes de lignes et non pas sur leur éclat absolu.

(2) La minute de la planche qui accompagne ce Mémoire a été présentée à l'Association française pour l'avancement des Sciences, en septembre 1872, au Congrès de Bordeaux (voir le volume des *Comptes rendus* de la session de Bordeaux, p. 300) : le retard dans la publication de ce Mémoire et surtout de la gravure de la planche provient de causes indépendantes de ma volonté.

40 centimètres de distance focale, un prisme de spath d'Islande bien travaillé, il suffit de trois clichés photographiques ayant chacun une étendue angulaire de 40 minutes pour obtenir toute la partie du spectre chimique comprenant les raies *h*, H, K, L, M, N, O.

La finesse des détails dépend entièrement de la perfection du prisme; avec un bon prisme elle atteint un degré étonnant : les clichés peuvent supporter un grossissement de 50 fois, c'est-à-dire 5 à 6 fois celui de l'oculaire de la lunette.

Au point de vue expérimental, j'ai adopté la marche indiquée par M. Mascart, à savoir l'emploi de la plaque photographique au foyer de la lunette d'un spectroscopie formé par un seul prisme; toutefois, j'ai changé le dispositif : au lieu d'introduire une très-petite glace collodionnée jusque dans le plan du réticule, j'ai trouvé plus commode d'employer un porte-plaque extérieur qu'on introduit aussi à la place de l'oculaire. Cette disposition dispense de tailler des verres circulaires, dont la dimension est si petite que la manipulation photographique devient difficile; de plus, elle permet de placer la petite glace collodionnée sur un châssis glissant à coulisse et d'obtenir ainsi plusieurs épreuves sur la même glace. Il est vrai aussi qu'on n'utilise plus le réticule; mais, en général, on n'en a pas besoin, et si le besoin s'en fait sentir, on verra plus loin comment on obtient des repères équivalents.

J'ai exécuté trois séries de clichés photographiques de spectres produits :

- 1° Par un réseau de Nobert;
- 2° Avec un prisme de flint;
- 3° Avec un prisme de spath d'Islande (rayon ordinaire).

La série obtenue avec les réseaux a permis de déterminer directement la longueur d'onde de 36 raies principales; les deux autres ont fourni des spectres plus dispersés ou plus étendus, lesquels, par la finesse de leurs détails, ont servi à compléter les observations précédentes.

Voici le détail d'une opération :

I. *Manipulation photographique.* — Le procédé photographique a été simplifié autant que possible : le collodion employé était celui du commerce; il faut le commander un peu plus épais ou attendre qu'il le devienne; on perd, il est vrai, en sensibilité, mais on gagne en

vigueur pour les clichés. Le bain d'argent contient $7\frac{1}{2}$ pour 100 de nitrate d'argent; le révélateur est formé de 1000 grammes d'eau, 30 centimètres cubes d'alcool, 30 centimètres cubes d'acide acétique cristallisable, et 60 centimètres cubes d'une solution saturée de sulfate de fer. On renforce avec quelques gouttes d'un vieux bain à 5 pour 100 et avec le révélateur; on fixe au cyanure, avec lequel on risque peu de tacher les épreuves, quand on opère à la hâte.

Les clichés sont séchés et vernis (vernis Sœhnée).

II. *Mise au point.* — La difficulté principale qu'on rencontre dans ces expériences, c'est la mise au point. Voici le procédé très-simple que j'ai suivi. Le tirage de la lunette étant gradué en millimètres, on construit la courbe empirique dont les ordonnées représentent la graduation du tirage de la lunette pour chaque raie principale du spectre visible, mise au point sur le réticule, et dont les abscisses sont la déviation minima de la raie. La lunette étant achromatique pour les rayons visibles, cette courbe empirique a la forme d'une parabole dont le sommet correspondrait au milieu du spectre : les rayons dont la distance focale est minima sont les rayons verts voisins de b . Les rayons chimiques présentent dès lors des distances focales croissant avec leur réfrangibilité, mais très-lentement au début; grâce à leur visibilité, on peut donc les suivre optiquement jusqu'à la raie H et prévoir par *extrapolation graphique* les tirages qu'il faudra donner à la lunette pour amener dans le plan du réticule le foyer d'une radiation plus réfrangible, correspondant à une déviation donnée. Comme la plaque sensible n'est pas placée dans le plan du réticule, mais en arrière, de toute l'épaisseur du porte-plaque, on diminue le tirage, c'est-à-dire les ordonnées de la courbe de cette quantité, et la courbe empirique peut servir à la mise au point photographique.

Pour faire cette correction d'une manière simple et rigoureuse, on enlève l'oculaire et on le remplace par le porte-plaque muni d'une glace sur la surface de laquelle sont tracés quelques traits au diamant, sur la face même où devrait être la couche sensible. A l'aide d'une loupe très-forte, on vise par transparence un groupe de raies très-fines, par exemple le groupe G, et l'on règle le tirage de manière à amener les traits exactement dans le plan focal de ces rayons. On recommence

la même opération en rétablissant l'oculaire et en visant sur le fil du réticule : la différence des deux lectures du tirage dans ces deux cas donne exactement l'épaisseur optique du porte-plaque, c'est-à-dire la correction à faire subir aux ordonnées de la courbe empirique. On vérifie photographiquement cette opération en remplaçant la plaque striée par une glace collodionnée et l'on rectifie, s'il y a lieu, en faisant des essais à $\frac{2}{10}$ de millimètre en avant ou en arrière du tirage calculé.

La courbe une fois construite pour la partie visible du spectre chimique permet d'obtenir sans tâtonnements les clichés de cette partie du spectre. Pour les rayons invisibles ultra-violets, on prolonge à *vue* l'élément de courbe graphique jusqu'à l'abscisse choisie, c'est-à-dire jusqu'à la déviation des rayons qui doivent occuper le milieu du champ, et on lit l'ordonnée ou graduation correspondant au tirage. On fait une épreuve et l'on examine si la netteté la plus grande est bien au milieu du champ ; s'il en est ainsi, le réglage est bon, sinon on détermine à l'inspection de l'épreuve la déviation de la région la plus nette et l'on rectifie le prolongement de la courbe des tirages : une seconde épreuve donne alors à coup sûr un résultat complètement satisfaisant.

On procède ainsi de proche en proche, en s'arrangeant de manière que deux clichés successifs présentent une partie commune, afin qu'on puisse les raccorder avec certitude.

III. *Signes de repère sur les clichés.* — Ayant été conduit, par le dispositif adopté, à rejeter l'emploi du réticule, j'ai dû chercher des moyens de tracer des repères sur les épreuves ; voici les deux qui m'ont paru à la fois les plus commodes et les plus précis :

1° On fixe la lunette en un point du cercle dont on note l'azimut A tel que la raie principale à observer soit sensiblement dans le milieu du champ ; puis, quand l'épreuve est terminée, on ramène la lunette dans la déviation du collimateur, de manière à recevoir l'image directe de la fente. Pour éviter de troubler le milieu du champ par la formation de l'image de cette fente et pour se ménager une échelle de proportion angulaire, on cale la lunette dans deux positions symétriques, distantes de 20 minutes du rayon central, dont l'azimut approché est A_0 , et dans chacune des deux positions on impressionne la glace sensible. Le cliché présente alors la série des raies et de chaque côté deux lignes

noires, images directes de la fente, qui sont les deux repères; il est facile de voir que la raie idéale qui se trouverait au milieu exact des deux repères correspondrait rigoureusement à la déviation mesurée par

$$A - \left(\frac{A_0 + 20' + A_0 - 20'}{2} \right) = A - A_0.$$

La distance des deux repères donne en même temps l'échelle de proportion du cliché, ou valeur linéaire correspondant à l'intervalle angulaire de 40 minutes.

Cette méthode s'applique parfaitement aux épreuves des spectres obtenus avec des réseaux ou avec des prismes, mais à la condition que ces pièces soient bien construites; si les réseaux offrent des erreurs systématiques dans leurs traits, si les faces du prisme ne sont pas optiquement planes, le foyer des rayons diffractés ou réfractés ne se forme plus dans le même plan que celui des rayons directs, et alors les repères n'ont plus la finesse qui fait leur précision: toutefois, un dépointement dans le foyer de 2 à 3 millimètres fournit encore des résultats satisfaisants. Si la différence de foyer dépasse cette limite, il faut employer la méthode suivante, plus précise encore, mais d'un usage un peu moins commode.

2° On utilise les images déviées à droite et celles déviées à gauche; on fait sur chaque cliché une double épreuve: à cet effet, on couvre la moitié supérieure de la fente et l'on fait une épreuve en photographiant les rayons déviés d'un côté en plaçant la lunette à l'azimut A_+ ; on répète la même opération en plaçant la lunette à l'azimut A_- , symétrique par rapport au rayon central, de manière à photographier les mêmes rayons, mais déviés de l'autre côté, et en découvrant l'autre moitié de la fente. On obtient ainsi un cliché où le même spectre se trouve disposé suivant deux positions inverses.

Le milieu des deux images de chaque raie est le même pour toutes: ce milieu correspond à la déviation $\frac{A_+ - A_-}{2}$. Ce mode opératoire a le double avantage d'offrir une seconde épreuve qui sert de contrôle, et de présenter une vérification pour les deux mesures micrométriques d'une même raie.

L'échelle de proportion ne se trouve pas sur l'image comme dans la méthode précédente; il faut faire une seconde épreuve avec une déviation différente pour l'obtenir.

Dans le cas où l'on veut employer le minimum de déviation du réseau ou du prisme, il est nécessaire de disposer sur la plate-forme centrale ou sur l'alidade mobile un petit cercle auxiliaire qui permet de déplacer la pièce de la moitié de l'angle dont tourne la lunette.

IV. *Examen et amplification des clichés.* — Les épreuves développées et fixées sont ensuite examinées avec un microscope grossissant de 25 à 100 fois, dont la plate-forme porte un chariot à vis micrométrique permettant de relever la position relative des raies. Dans d'autres cas, on adapte au microscope une chambre claire dite *d'Oberhauser*, projetant sur une feuille de papier blanc l'image du cliché : en suivant avec la pointe d'un crayon les traits de l'épreuve, on peut obtenir une image amplifiée des raies spectrales et les relever graphiquement avec un compas; je dirai plus loin dans quel cas je me suis servi de l'une ou de l'autre de ces deux méthodes d'examen et d'amplification.

Enfin, comme auxiliaires fort commodes, j'ai exécuté des épreuves amplifiées de ces petits clichés avec un grossissement variant de 12 à 25 diamètres. A cet effet le microscope était renversé horizontalement, l'oculaire enlevé et le cliché fixé au porte-objet était éclairé par la concentration de rayons solaires; l'image du cliché venait se peindre dans l'intérieur d'une chambre noire à portraits dont l'objectif était enlevé : on recevait cette image, rendue moins intense et plus monochromatique par l'interposition d'un verre bleu en avant de la lentille de concentration, sur une glace collodionnée.

De cette manière, on se procure des clichés positifs, visibles sans loupe, où l'on peut étudier et dessiner sans fatigue l'*effet* des groupes de raies des épreuves; des épreuves sur papier, obtenues avec ces clichés, sont très-utiles dans les carnets d'observation lors des mesures micrométriques, pour définir les raies qu'on relève et éviter les confusions.

Relevé des observations.

Le but à atteindre était la détermination des longueurs d'onde de toutes les raies ultra-violettes observables, et l'opération fondamentale a consisté dans le relevé micrométrique des clichés obtenus avec les réseaux. Il eût été très-désirable de relever toutes les raies sur ces clichés; mais le faible pouvoir optique et les défauts inévitables des réseaux

introduisent une certaine confusion dans les images des raies. Cette imperfection des images n'empêche pas la précision du pointé des raies bien isolées, malgré le léger estompement des bords, mais elle efface les détails des groupes de raies un peu fines; en un mot, le spectre des réseaux est notablement inférieur à celui des prismes; de plus, la dispersion des réseaux étant proportionnelle à la longueur d'onde est pour les radiations très-réfrangibles beaucoup moins avantageuse que celle des prismes, qui est sensiblement proportionnelle à l'inverse du carré de la longueur d'onde.

Il a donc fallu se contenter de mesurer les longueurs d'onde des raies principales, sauf à demander aux clichés des spectres prismatiques les détails intermédiaires et même le contrôle de la simplicité des raies fondamentales.

Le réseau de Nobert dont je me suis servi appartient au Cabinet de l'École Polytechnique; il est formé de 1801 traits tracés au diamant; la distance du premier au dernier égale $6^{\text{mm}},762$, d'après quatre mesures concordantes effectuées avec la vis d'une machine à diviser de Bianchi et rapportées à un mètre de Lenoir. L'incertitude causée par les difficultés de subdivision d'une grande unité, de comparaison aux types, des effets de la dilation, etc., fait que je ne pourrais pas répondre de 2 à 3 unités sur le quatrième chiffre; on en déduit, pour l'intervalle de deux traits,

$$a = 0^{\text{mm}},003762.$$

Comme je n'avais pas en vue une détermination absolue des longueurs d'onde, mais plutôt la continuation du travail d'Angström, je n'ai considéré cette mesure que comme une vérification des opérations ultérieures, et j'ai déduit la constante de mon réseau de la comparaison de déviations de six raies principales avec les longueurs d'onde données par le savant suédois.

Le plan du réseau se règle normalement aux rayons incidents, en se servant de la réflexion normale à l'axe optique de la lunette pointée exactement sur le collimateur; à cet effet, on emploie un oculaire nadiral, semblable à ceux qu'emploient les astronomes pour viser sur le bain de mercure, ou simplement une lame de glace inclinée à 45 degrés, qu'on place devant le réticule après avoir ôté l'oculaire: on peut alors, en projetant de la lumière suivant l'axe, mettre en coïncidence le réti-

cule avec son image réfléchiée sur la face du réseau qui porte les traits; cette coïncidence s'observe avec une grande précision à l'aide d'une loupe qui permet d'examiner le réticule à travers la glace sans tain.

Je mesurais la double déviation δ du spectre du second ordre, qui était très-brillant et très-pur, laquelle satisfait à la formule

$$\frac{a}{2} \sin \delta = \lambda.$$

Voici le résumé des observations :

	2δ	λ (Angström).	$\log\left(\frac{\lambda}{\sin \delta} = \frac{a}{2}\right)$.
Raie C.....	40.50.48"	656,20	3,27428
Raie D (plus réfrangible).	36.30. 3	588,89	3,27425
Raie b_1 (isolée).....	31.59.54	519,30	3,27426
Raie F.....	29.57.30	486,06	3,27430
Raie du fer.....	26.57.12	438,26	3,27426
Raie du fer.....	25.58.24	422,63	3,27431
		Moyenne.....	3,27428

$$\log \frac{a}{2} = 3,27428.$$

$$\frac{a}{2} = 1880,5 \text{ millionièmes de millimètre.}$$

La mesure directe m'avait donné 0,001881.

La moyenne du logarithme de $\frac{a}{2}$ est le facteur qui a servi ultérieurement à tous les calculs pour déduire les longueurs d'onde des déviations observées optiquement ou chimiquement.

Il reste à dire quelques mots du mode de calcul employé pour la réduction des clichés. Chacun de ces clichés porte un numéro particulier, qui correspond sur le carnet d'expériences aux déviations des deux repères tracés photographiquement, suivant la méthode décrite plus haut.

Voici, par exemple, le calcul de la longueur d'onde de la raie G ($\lambda = 430,72$ Angström), d'après le cliché X₀.

	Azimat des repères.	Azimat de la déviation.
Cliché X ₀	$\left\{ \begin{array}{l} 90^\circ - 20' \\ 90^\circ - 20' \end{array} \right.$	75° 45' ;

d'où l'on conclut que les repères correspondent aux déviations $\left\{ \begin{array}{l} 13^{\circ}35' \\ 12^{\circ}55' \end{array} \right.$
 (la confusion entre les deux n'est pas possible, car on sait, d'après la position du cliché sur le goniomètre le sens des déviations croissantes). Les longueurs d'onde qui correspondent à ces repères sont 441,66 et 420,36, en appliquant la formule $\frac{\alpha}{2} \sin \delta = \lambda$.

Le cliché a été placé sur le chariot du microscope et avec la vis micrométrique on a amené successivement les raies les plus importantes ainsi que les deux repères : la mesure a été répétée en tournant la vis en sens inverse. La moyenne des deux pointés a donné :

Premier repère	37,622		$\lambda = 420,36$
		Diff. 4,921	
Raie G	42,543		x
		Diff. 5,106	
Deuxième repère	47,649		441,66
		Diff. des repères. <u>10,027</u>	Diff. <u>21,30</u>

Le cliché correspondant à 13 degrés de déviation moyenne et ayant une étendue de 40 minutes, on peut admettre que dans ce petit intervalle les longueurs d'onde varient proportionnellement aux distances des repères : d'où l'on conclut la proportion qui donne la longueur d'onde par la raie G,

$$\frac{x - 420,36}{21,30} = \frac{4,921}{10,027}, \quad x = 430,81.$$

Il y a toutefois une petite correction à faire si l'on veut rapporter ces nombres à ceux qu'on obtient optiquement; en effet, dans ce mode opératoire, on n'observe la déviation que d'un seul côté et d'une manière dissymétrique : on peut donc craindre une petite erreur constante provenant à la fois de cette cause et de la différence des modes d'observation. C'est ce que j'ai aperçu en déterminant successivement la longueur d'onde des mêmes raies par le procédé optique et le procédé photographique : la région violette autour de la raie G se prête très-bien à ces mesures. La correction est d'ailleurs très-faible et sensiblement constante; sa valeur moyenne est de $-0,10$ ou $\frac{1}{4000}$ en valeur absolue. Les valeurs corrigées sont données dans le tableau suivant, sous le nom de *valeurs définitives*.

Tableau des déterminations optiques et photographiques des longueurs d'onde du spectre solaire.

VISION DIRECTE.	RELEVÉ DES CLICHÉS $X_0, X_1, X_2, X_3, X'_4, X'_5$.		D'APRÈS ANGSTRÖM.	VALEURS DÉFINITIVES.
C 656,20			C 656,20	
D ₁ 588,92			D ₁ 588,89	
b ₁ 518,32			b ₁ 518,30	
F 486,05	X ₀		F 486,06	
" 438,26	438,37		438,26	
G "	430,81	X ₁	G 430,72	
" 422,60	422,73	422,71	" 422,63	
		414,38		
		"		411,81
		411,91		410,10
		h 410,04	h 410,12	407,11
			407,10	406,29
			406,29	404,51
			404,50	402,99
			402,93	400,44
			400,46	398,61
			398,80	H 396,76
			H ₁ 396,82	395,20
			395,15	K 393,29
			H ₂ 393,30	392,21
				390,48
				389,47
				387,74
				389,93
				383,75
				L 381,96
				380,64
				378,53
				376,33
				374,52
				M 372,68
				370,54
				368,71
				369,62
				364,70
				363,08
				361,80
				360,82
				N 358,05
				355,73
				352,67
				349,78
				O 344,07
				343,97
				P 336,98
				337,08
				X' ₂
				358,15
				355,73
				352,67
				349,78
				O 344,07
				343,97
				P 336,98
				337,08
				X' ₄
				376,47
				374,64
				372,82
				370,67
				368,84
				366,75
				364,83
				363,21
				361,93
				360,95
				X' ₅
				358,15
				355,73
				352,67
				349,78
				O 344,07
				343,97
				P 336,98
				337,08

(*) Raie du magnésium correspondant à b₁ du spectre visible.

Ce tableau renferme les résultats déduits directement de chacun des clichés $X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ (¹). Les clichés successifs offrant toujours deux à deux une partie commune, le *raccordement* s'effectue sans aucune confusion : on remarquera à ce propos la concordance remarquable des déterminations communes.

On a rapporté la série des raies observées optiquement : deux d'entre elles sont communes au cliché X_0 et donnent la valeur approchée de la correction ; cette correction est donnée d'une manière plus complète par la comparaison des nombres d'Angström (qui s'accordent complètement avec les résultats optiques, d'après ce qui a été dit plus haut) avec ceux déduits des clichés jusqu'à la raie K (ou H_2 de la planche d'Angström).

Telles sont les observations fondamentales qui m'ont permis de déterminer les longueurs d'onde de toutes les autres raies, au nombre d'environ 650.

On remarquera pour la partie ultra-violette l'accord qui existe entre mes déterminations et celles que M. Mascart a faites des raies H, K, L, M, N, O, P. J'ai adopté d'ailleurs les mêmes notations pour les raies.

Tracé de la Planche.

Pour réunir sur un dessin toutes les raies observées, j'ai commencé par tracer à la machine à diviser une échelle millimétrique sur une feuille de carton de Bristol ; un premier canevas de raies a été tracé avec les 36 raies du tableau précédent, dont les longueurs d'onde ont été déterminées directement. L'échelle adoptée est la même que celle d'Angström, à savoir 1 centimètre pour un millionième de millimètre ; les raies intermédiaires ont été obtenues par interpolation, d'après les clichés des spectres prismatiques, dont la finesse est supérieure à celle des spectres de réseaux.

J'avais commencé à relever au micromètre les raies des clichés de ces spectres fournis par les prismes, mais j'y ai bien vite renoncé pour

(¹) Ces clichés ont été obtenus à Paris le 5 mai 1871, à l'exception du dernier, qui l'a été le 7 : il est bon de fixer la date de ces épreuves, depuis que les physiciens et les astronomes soupçonnent quelque variation lente dans la constitution solaire.

deux motifs : le premier, c'est que le nombre des raies est si grand qu'on ne sait plus sur le carnet d'expérience comment les désigner sans les confondre et sans faire d'erreurs de pointés; le second, c'est que tout ce travail ne servirait qu'à donner une exactitude illusoire, puisqu'on peut à peine compter sur une approximation de 0,05 dans la mesure absolue des longueurs d'onde, c'est-à-dire un demi-millimètre sur le tracé graphique.

J'ai pensé qu'il valait bien mieux porter tout le soin vers la reproduction de l'*aspect* ou *effet* de chaque groupe de raies plutôt que sur la position absolue de chacune d'elles : en un mot qu'une erreur dans les intervalles relatifs d'un groupe était beaucoup plus préjudiciable qu'un déplacement égal du groupe tout entier. J'ai donc choisi un moyen de relevé qui permit d'avoir toujours une vue d'ensemble sur les groupes : c'est ce que donne l'emploi de la chambre claire décrite plus haut.

Les clichés obtenus avec un prisme de flint assez dispersif ont été amplifiés environ 75 fois et les dessins raccordés très-exactement sur la même épure, dont le développement atteignait 3 mètres depuis la raie *h* jusqu'à O. Sur cet énorme spectre ⁽¹⁾, où les raies les plus fines et les plus serrées ont été reproduites, j'ai commencé par un premier travail de mise à l'*effet* des groupes, soit en forçant la couleur de l'encre, soit en employant le lavis pour représenter les raies estompées ou les régions à fond plus sombre : pour me guider, les positifs amplifiés étaient d'un grand secours.

A l'aide de ce premier dessin, sur lequel les raies étaient rangées suivant la dispersion prismatique, j'ai pu, avec un simple compas de proportion, exécuter une véritable interpolation graphique entre les 36 raies fondamentales. L'échelle de proportion variait progressivement d'un intervalle à l'autre; mais la distance des raies fondamentales avait été choisie de manière que dans aucun cas l'erreur due à l'emploi du compas ne s'élevât à $\frac{2}{10}$ de millimètre. Une courbe empirique avait d'ailleurs été construite pour bien se rendre compte de cette variation et une échelle particulière tracée sur le compas de proportion facilitait beaucoup cette opération graphique.

La partie la plus réfrangible du spectre entre N et O a été relevée

(1) La distance des deux raies H (nommées H et K) était d'environ 12 centimètres.

surtout à l'aide de clichés obtenus avec le réseau et le prisme de spath d'Islande; l'absorption du prisme de flint était trop considérable pour que les détails fussent suffisamment nets (1).

En somme, la Planche qui résume ce travail peut être considérée comme formant suite aux Planches du Mémoire d'Angström : j'ai adopté les mêmes conventions et déduit de ses nombres la constante de mon réseau. La finesse des détails me paraît être au moins du même ordre dans l'ensemble du spectre : elle est même beaucoup plus grande pour les environs des raies h , H ; mais cela n'a rien qui doive étonner, car l'œil arrive à la limite de sensibilité dans cette région, tandis que le collodion iodobromé est, au contraire, extrêmement sensible pour ces radiations.

Enfin, comme erreur probable dans la position des raies par rapport aux repères, je ne crois pas que le dessin atteigne 0,03, c'est-à-dire un tiers de millimètre; en valeur absolue, ces repères ou raies fondamentales ne doivent pas s'écarter de 0,10 de leur vraie valeur.

(1) L'aspect des groupes a été copié sur des clichés obtenus avec un prisme de flint, en mai et juin 1871 pour la plus grande partie du spectre : la partie la plus réfrangible a été revue sur des clichés obtenus avec un prisme de spath d'Islande (rayon ordinaire), en mai 1872. Je crois utile de fixer ces dates, afin de permettre plus tard de reconnaître les *changements d'aspect* des groupes, suivant les phases de l'activité solaire. Ces changements sont déjà visibles lorsque l'on compare les Planches de Kirchhoff avec celles d'Angström et avec l'apparence actuelle du spectre solaire. Comme exemple de ces changements, je citerai l'existence de deux *raies ou plages brillantes*, figurées sur la Planche par deux petits cercles ($\lambda = 388,15$, $\lambda' = 388,55$) très-visibles sur les clichés de 1871, qui sont beaucoup moins apparentes sur les clichés de 1872.