

**Mesure de l'absorption de la lumière  
dans les milieux cristallins et son intérêt en minéralogie,**

par G. TOUBEAU,  
Aspirant du F. N. R. S.

PREMIÈRE PARTIE.

Les phénomènes d'absorption lumineuse dans les milieux cristallins transparents ont été peu étudiés du point de vue quantitatif; les coefficients d'absorption, par exemple, ne sont connus que par leur valeur relative. La présente note résume les travaux que nous avons entrepris en vue de l'étude expérimentale de ces phénomènes. Il s'agit essentiellement des résultats de mesures effectuées par voie photo-électrique, mesures devant servir à la mise au point éventuelle d'une méthode optique de détermination des coefficients d'absorption et de la biabsorbance.

Nous envisageons d'abord le cas des minéraux isotropes.

A. — LUMIÈRE MONOCHROMATIQUE.

Dans un milieu cristallin isotrope, transparent et absorbant, l'amplitude de la vibration lumineuse transmise à travers une lame mince du minéral étudié s'écrit :

$$\bar{D} = e^{-\omega \frac{s}{c} \bar{A}}, \quad [1, 2] \quad (1)$$

expression dans laquelle :

$s$  est l'épaisseur de la lame mince;

$c$  la vitesse de la lumière dans le vide;

& l'indice d'extinction, fonction de la nature du milieu et de la longueur d'onde de la lumière.

Lorsqu'on substitue à l'oculaire du microscope une cellule photo-électrique couplée à un microampèremètre, le courant

(1) Les chiffres entre [ ] renvoient à la bibliographie *in fine*.

enregistré est proportionnel au carré de l'amplitude de la vibration lumineuse transmise et sera donc exprimé par

$$I = k \cdot e^{-2\omega \cdot \frac{\epsilon}{c} \cdot d} \cdot A^2, \quad (2)$$

expression dans laquelle  $k$  est une constante, dépendant de l'appareillage utilisé (microscope, microampèremètre, cellule photo-électrique).

Dans les mêmes conditions de mesure, l'intensité de la vibration lumineuse incidente pourra s'exprimer par

$$I_0 = k \cdot A^2. \quad (3)$$

L'absorption lumineuse peut être précisée par l'un ou l'autre des coefficients suivants :

$$\text{facteur de transmission } \rho = I/I_0 \text{ [3]}, \quad (4)$$

$$\text{densité optique} = \log 1/\rho, \quad (5)$$

$$\text{coefficient d'absorption } \beta = 2\pi \cdot \epsilon/\lambda, \quad (6)$$

$$\text{coefficient décimal d'absorption } m = \beta \times \log e. \quad (7)$$

Voyons à présent la relation qui existe entre l'indice d'extinction  $\epsilon$  et la densité optique. Nous savons que

$$\rho = I/I_0 = e^{-2\omega \frac{\epsilon}{c} d}. \quad (8)$$

Or

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{2\pi}{\omega}.$$

D'où

$$\rho = e^{-4\pi \frac{\epsilon}{\lambda} s} = e^{-2\beta s},$$

$$\log_e \rho = -4\pi \cdot s \cdot \epsilon/\lambda,$$

$$\log_{10} \rho = -4\pi \cdot s \cdot \epsilon/\lambda \cdot \log_{10}^e \rho,$$

$$\epsilon = -\frac{\lambda}{4\pi s \cdot \log_{10}^e \rho} \cdot \log_{10} \rho,$$

ou encore

$$\boxed{\epsilon = C \cdot \log 1/\rho}, \quad (9)$$

en posant

$$\boxed{C = \frac{\lambda}{4\pi s \cdot \log_{10}^e \rho}}. \quad (10)$$

On trouvera au tableau I les valeurs calculées de C pour diverses longueurs d'onde du spectre visible et pour les épaisseurs courantes de lames minces.

TABLEAU I.

Valeurs du coefficient  $C = \frac{\lambda}{4\pi s \cdot \log_{10}^c} \cdot 10^4$  pour des épaisseurs variables.

$\lambda = x \text{ \AA}$	$s=0,01 \text{ mm}$	$s=0,02 \text{ mm}$	$s=0,03 \text{ mm}$	$s=0,04 \text{ mm}$	$s=0,05 \text{ mm}$
4500	82,35	41,26	27,45	20,61	16,47
4800	87,84	44,01	29,28	21,98	17,56
5000	91,50	45,85	30,50	22,90	18,30
5200	95,16	47,68	31,72	23,81	19,03
5300	96,99	48,60	32,33	24,27	19,39
5600	102,48	51,35	34,16	25,64	20,49
5800	106,14	53,18	35,38	26,56	21,22
5900	107,97	54,10	35,99	27,02	21,59
6000	109,80	55,02	36,60	27,48	21,96
6100	111,63	55,93	37,21	27,93	22,32
6200	113,46	56,85	37,82	28,39	22,69
6300	115,29	57,77	38,43	28,85	23,05
6500	118,95	59,60	39,65	29,77	23,79
6700	122,61	61,43	40,87	30,68	24,52
7000	128,10	64,19	42,70	32,06	25,62

#### Nécessité de passer par l'intermédiaire d'une lame étalon.

Pour mesurer le facteur de transmission  $\rho$ , on doit donc mesurer les courants I et  $I_0$ . Or, si la mesure de l'intensité de l'onde émergente est aisée, celle de l'intensité  $I_0$  de l'onde incidente devant se faire dans les mêmes conditions expérimentales entraîne l'évaluation exacte des absorptions parasites dans les lames protectrices et l'objectif du microscope.

On évite cet écueil par l'emploi d'une lame étalon reproduisant exactement l'enrobage de la lame étudiée et constituée par conséquent d'un même ensemble porte-objet - baume - couvre-objet. Les variations d'épaisseur des porte-objets n'ont pratiquement aucune influence fâcheuse sur les absorptions. Pour nous en assurer, nous avons choisi successivement comme étalon un seul porte-objet, deux porte-objets, un porte-objet + un couvre-objet. En tenant compte du pourcentage de réponse de la cellule photo-électrique aux différentes longueurs d'onde, traçons les courbes  $I_0 = f(\lambda)$ .

Le graphique de la figure 1 montre que les trois courbes sont pratiquement confondues entre 4.000 et 6.500 Å, les différences appréciables n'apparaissant que pour des longueurs d'onde supérieures à 6.500 Å. On peut en conclure que l'absorption lumineuse due au porte-objet et au couvre-objet d'une lame mince quelconque varie peu d'une lame à l'autre.

#### Mesure des coefficients $\rho$ et $\beta$ .

Les opérations sont les suivantes en lumière monochromatique :

a) Repérer une plage homogène du minéral étudié (éviter les trop nombreuses impuretés, les trous dans la lame, les craquelures);

b) Mesurer l'intensité  $I$  de l'onde transmise, avec la cellule photo-électrique couplée au microampèremètre;

c) Mesurer l'intensité  $I_0$  de l'onde incidente soit avec la lame étalon, soit en mesurant le courant transmis à travers l'épaisseur porte-objet + couvre-objet de la lame étudiée en dehors de la plage minérale;

d) Calculer  $\rho$ ,  $\rho$  et  $\beta$  à l'aide des formules (4), (9), (10) et (6).

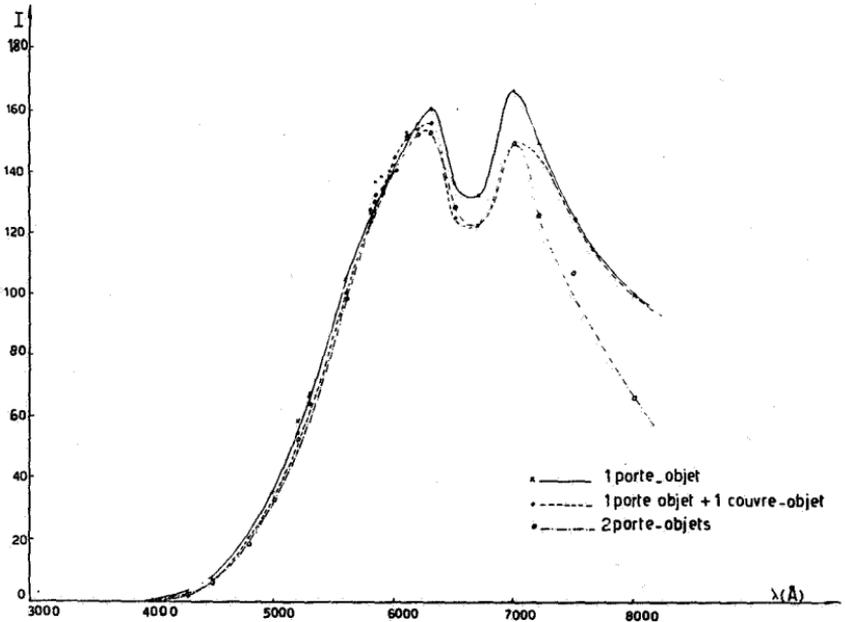
#### B. — LUMIÈRE BLANCHE.

Appelons  $i_0$  l'intensité de la lumière incidente de longueur d'onde  $\lambda$ . Pour l'ensemble du spectre visible, l'intensité lumineuse incidente peut être exprimée par

$$I_0 = \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 \cdot d\lambda.$$

Soit  $\beta$  le coefficient d'absorption du minéral isotrope pour la radiation de longueur d'onde  $\lambda$ . Pour l'ensemble du spectre visible, l'intensité de la lumière transmise s'exprimera par la relation

$$I = \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 \cdot e^{-2\beta s} \cdot d\lambda.$$



Si le coefficient  $\beta$  ne dépendait pas de  $\lambda$  on pourrait écrire

$$I = e^{-2\beta s} \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 d\lambda = I_0 \cdot e^{-2\beta s}.$$

Mais le coefficient  $\beta$  est une fonction de la longueur d'onde et nous poserons

$$I = I_0 \cdot e^{-2\beta_m s}, \quad (11)$$

expression dans laquelle  $\beta_m$  est un indice moyen d'absorption tel que l'on puisse écrire

$$I_0 \cdot e^{-2\beta_m s} = \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 \cdot e^{-2\beta s} \cdot d\lambda;$$

de l'égalité (11) nous tirons :

$$\begin{aligned}
 I/I_0 &= e^{-2\beta_m s}, \\
 \log I/I_0 &= -2\beta_m s \cdot \log e_{10}, \\
 \log I_0/I &= 2\beta_m s \cdot \log e_{10}, \\
 \beta_m &= \frac{\log I_0/I}{2s \cdot \log e_{10}}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

La mesure des intensités lumineuses  $I$  et  $I_0$  se fera exactement comme indiqué ci-dessus pour les mesures en lumière monochromatique.

### C. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET CONCLUSIONS.

La mesure du coefficient  $\beta$  est particulièrement intéressante pour la diagnose des minéraux isotropes dont la seule grandeur déterminable au microscope polarisant est l'indice de réfraction. La mesure de cet indice nécessite d'ailleurs des manipulations longues et parfois délicates. C'est notamment le cas pour les grenats dont nous avons étudié en détail les propriétés photo-absorbantes.

Les résultats de l'étude sont résumés dans le tableau II et permettent de dégager les conclusions suivantes :

a) Il est possible de distinguer 3 groupes dans les grenats :

- groupe du Grossulaire  $2 \leq \beta \leq 4$ ,
- groupe Pyrope-Almandin  $4 \leq \beta \leq 10$ ,
- groupe de la Mélanite  $\beta > 10$ ;

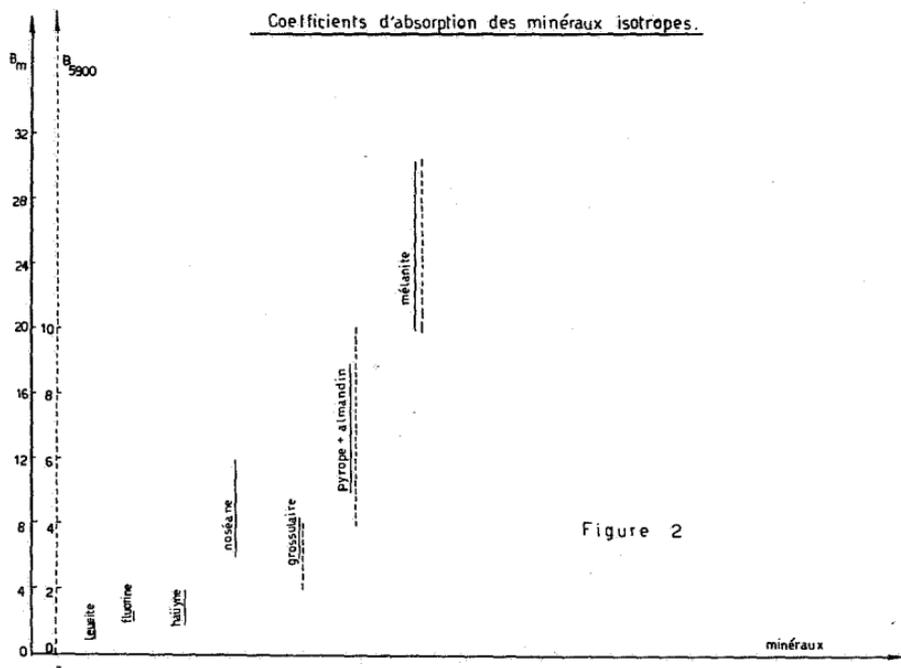
b) A l'intérieur d'un même groupe, la valeur du coefficient  $\beta$  paraît fonction de la teneur du grenat en certains ions. Ainsi, pour le groupe Pyrope-Almandin,  $\beta$  semble varier en fonction du rapport Fe O/Mg O. Nous avons entrepris une étude détaillée de ce groupe en vue de tracer la courbe  $\beta = f(\text{Fe O/Mg O})$ ;

c) Les résultats obtenus en lumière monochromatique restent valables en lumière blanche.

Nous avons également porté notre attention sur les minéraux du groupe de la Sodalite (Noséane, Häuÿne,...). La diagnose en est facilitée par la mesure du coefficient  $\beta$  ainsi que le montrent la figure 2 et le tableau II.

TABLEAU II.

Minéraux	$B_{5900}$	$B_m = \frac{\log I_0/I}{2s \cdot \log_{10}^c}$
Leucite ... ..	—	1,1 à 2
Fluorine ... ..	—	2,2 à 2,4
Haüyne ... ..	—	1,8 à 4
Noséane ... ..	—	6 à 12
Grossulaire . ... ..	2 à 4	6 à 8,5
Pyrope + Almandin . ... ..	4 à 10	9 à 18
Mélanite ... ..	10 à 20	20 à 30



La mesure du coefficient d'absorption des minéraux isotropes s'avère donc très utile pour les déterminations. Elle est simple, rapide, aisément reproductible; sa précision est suffisante pour dégrossir rapidement les problèmes, et nous espérons augmenter prochainement la finesse de la diagnose.

Soulignons cependant que pour être précise, la méthode nécessite quelques précautions indispensables :

a) L'épaisseur de la lame mince devra être connue avec précision car elle conditionne le choix du coefficient  $C$  intervenant dans le calcul des coefficients d'absorption;

b) Emploi d'une source lumineuse rigoureusement constante pour assurer la constance du  $I_0$  incident;

c) Choix de plages minérales homogènes, sans cassures importantes ou lacunes;

d) Utilisation d'un galvanomètre très sensible capable d'enregistrer de faibles variations d'intensité lumineuse.

Les mêmes remarques sont valables pour l'étude des minéraux anisotropes que nous allons aborder dans une seconde partie.

## DEUXIÈME PARTIE.

### LES MINÉRAUX ANISOTROPES.

Dans les milieux cristallins transparents et anisotropes à chaque plan d'onde correspondent deux ondes de vitesses différentes  $v'$  et  $v''$ . Si le milieu est absorbant, l'absorption lumineuse sera différente pour les deux ondes d'un même plan d'onde que l'on pourra caractériser par deux indices d'extinction  $\&'$  et  $\&''$ . On peut aisément démontrer [1, 2] que l'existence de ces deux indices d'extinction provoquent l'ellipticité des ondes lumineuses transmises. Cependant, l'ellipticité de l'onde n'est importante que si  $\&$  est du même ordre de grandeur que l'indice de réfraction, ce qui n'est généralement pas le cas. De sorte qu'en pratique, nous confondrons toujours la vibration elliptique avec le grand axe de l'ellipse.

On pourrait encore démontrer [1] que :

— pour les milieux cristallins uniaxes, il existe un ellipsoïde des indices d'extinction dont les directions principales sont confondues avec celles de l'ellipsoïde des indices de réfraction.

— pour les milieux orthorhombiques, les deux ellipsoïdes n'ont en commun que leurs plans principaux de sorte que leurs sections cycliques coïncideront rarement. En conséquence, pour une section perpendiculaire à un axe optique du minéral, l'indice d'extinction de la section cyclique pourra varier légèrement.

— pour les milieux monocliniques, il existe un indice d'extinction principal suivant l'axe binaire du minéral et deux autres indices principaux dans le plan normal à cet axe; mais dans ce plan, ils ne seront pas dirigés suivant les axes principaux de réfraction.

— pour les milieux tricliniques, les trois indices d'extinction sont portés par trois axes principaux orientés d'une manière quelconque par rapport aux axes de l'ellipsoïde des indices de réfraction.

Envisageons plus spécialement le cas des minéraux pléochroïques. Comme le montrent les formules (9) et (10), l'indice d'extinction est une fonction de la longueur d'onde. Il peut se faire que, pour une section minérale d'épaisseur  $s$ , les coefficients  $\&'$  puissent être très élevés pour certaines longueurs d'onde alors qu'ils sont presque nuls pour d'autres radiations  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ . Dans ce cas, pour la lumière blanche vibrant suivant la direction qui porte  $\&'$ , seules les radiations complémentaires à  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  traverseront la lame pour donner une teinte par transparence, soit  $C'$ . Semblablement, une teinte  $C''$  sera obtenue suivant l'autre direction qui porte les indices  $\&''$ . On appelle teintes principales d'un corps anisotrope pléochroïque, les teintes par transparence de ce corps lorsque la lumière vibre suivant les directions principales du cristal.

### MESURE DES COEFFICIENTS $\&$ ET $\beta$ PAR VOIE PHOTO-ÉLECTRIQUE.

#### A. — Lumière monochromatique.

Pour chaque radiation repérée et fournie par un monochromateur, on procède comme suit :

a) Mettre au point sur une plage homogène du minéral dont on veut étudier l'absorption;

b) Pour la plage choisie, relever les deux directions d'absorption;

c) Pour chacune de ces deux directions, mesurer à l'aide de la cellule photo-électrique couplée au microampèremètre, l'intensité de l'onde lumineuse transmise. Soient  $I_1$  et  $I_2$  les intensités ainsi mesurées;

d) Dans les mêmes conditions, mesurer l'intensité de l'onde lumineuse incidente  $I_0$  transmise à travers la lame étalon;

e) Calculer les rapports  $\rho_1 = I_1/I_0$  et  $\rho_2 = I_2/I_0$ ;

f) Calculer les coefficients  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  et  $\beta_2$  à l'aide des formules (9), (10) et (6).

On pourra ainsi caractériser chaque section minérale par deux coefficients d'absorption  $\beta_1$  et  $\beta_2$  relatifs respectivement à chacune des directions d'absorption et par une biabsorbance  $B = |\beta_1 - \beta_2|$ . Par le choix de sections particulières, on pourra même dans les milieux uniaxes et orthorhombiques mesurer la biabsorbance caractéristique du minéral.

On peut aussi définir, pour chaque section, un coefficient de biabsorption  $\beta_1/\beta_2$ . Ce rapport est assez semblable au point de vue de la signification à celui qui définit le degré d'anisotropie des surfaces polies en lumière réfléchie.

## B. — Lumière blanche.

Si l'on ne dispose pas d'un monochromateur, il peut être intéressant de mesurer une biabsorbance moyenne  $B_m$  en lumière blanche. Nous allons établir la formule à appliquer dans ce cas. Notons que les valeurs obtenues n'auront de signification que si la dispersion des coefficients d'absorption du minéral étudié n'est pas trop accusée.

Par analogie avec ce qui a été fait pour les milieux isotropes (II), nous pouvons définir, pour une section minérale anisotrope, deux indices moyens d'absorption  $\beta_{1m}$  et  $\beta_{2m}$  tels que l'on puisse écrire

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-2\beta_{1m}s} = \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 \cdot e^{-2\beta_1 s} \cdot d\lambda;$$

$$I_2 = I_0 \cdot e^{-2\beta_{2m}s} = \int_{\lambda_b}^{\lambda_r} i_0 \cdot e^{-2\beta_2 s} \cdot d\lambda.$$

Faisant le rapport des courants  $I_1$  et  $I_2$ , il vient

$$I_1/I_2 = e^{-2s(\beta_{1m} - \beta_{2m})},$$

$$\log I_1/I_2 = 2s \cdot \log_{10}^e (\beta_{2m} - \beta_{1m}),$$

$$\boxed{B_m = \beta_{2m} - \beta_{1m} = \frac{\log I_1/I_2}{2s \cdot \log_{10}^e}}. \quad (13)$$

### C. — Résultats expérimentaux et conclusions.

Dans le cadre de notre étude, nous avons groupé les minéraux en trois classes :

- a) Les minéraux anisotropes incolores : Muscovite, Spodumène,...;
- b) Les minéraux anisotropes colorés, non pléochroïques : Olivine, Zircon, Augite,...;
- c) Les minéraux anisotropes et pléochroïques.

Dans cette dernière classe, nous distinguons trois sous-classes basées sur la valeur maximum de la biabsorbance  $B$  relevée pour  $\lambda = 5.900 \text{ \AA}$  et sur la valeur de  $B_m$  relevée en lumière blanche. Nous avons ainsi :

- pléochroïsme faible :  $B \leq 1$  et  $B_m < 1$ ;
- pléochroïsme moyen :  $1 \leq B \leq 8$  et  $1 \leq B_m \leq 10$ ;
- pléochroïsme fort :  $B > 8$  et  $B_m > 10$ .

Le tableau III rassemble les valeurs des coefficients d'absorption  $\beta$ , de la biabsorbance pour  $\lambda = 5.900 \text{ \AA}$ , de la biabsorbance moyenne  $B_m$  et du coefficient de biabsorption. Les figures 3 et 4 donnent une classification des minéraux par biabsorbance croissante en lumière monochromatique et en lumière blanche.

L'examen de ces documents nous permet de tirer les conclusions suivantes :

1° Les mesures en lumière blanche et en lumière monochromatique sont concordantes; la classification des minéraux par ordre de biabsorbance croissante est parfaitement la même dans les deux cas.

Minéraux		$\lambda=5900 \text{ \AA}$			Lumière blanche $B_m = \frac{\log I_1/I_2}{2 s \cdot \log 10}$	Orientation de la section
		$\beta_1$	$\beta_2$	$B =  \beta_1 - \beta_2 $		
Minéraux anisotropes, incolores, non pléochroïques	Quartz n° 5 .. ... ..	—	—	—	0	—
	Quartz 20 C . ... ..	2,75	2,45	0,30	0	(1, 0, 1, 1)
	Disthène 122 C ... ..	—	—	—	0,08	—
	Disthène 112 B ... ..	—	—	—	0,18	—
	Idocrase 1365 ... ..	—	—	—	0,18	(1, 0, 0)
	Actinote 70 C ... ..	3,55	3,55	0	0,20	—
	Cordiérite 51 B ... ..	3,30	2,00	1,30	0,71	—
Diallage 48 B ... ..	—	—	—	1,40	—	
Muscovite ... ..	5,20	4,20	1,00	—	Section $\perp$ au clivage	
Minéraux anisotropes, colorés, non pléochroïques	Augite n° 1 .. ... ..	22,60	18,75	3,85	—	Section // à l'allongement
	Augite 74 B .. ... ..	4,95	4,80	0,15	—	—
	Augite 79 C .. ... ..	12,80	10,90	1,90	1,30	Section (1, 0, 0)
	Augite n° 1 .. ... ..	12,80	10,90	0,90	—	Section $\perp$ à l'allongement
	Aegyrine 86 C ... ..	—	—	—	0,70	—
	Olivine n° 1 .. ... ..	2,85	1,95	0,90	0,76	—
	Hornb. verte 82 B ... ..	2,30	1,95	0,90	0,76	—
	Hornb. verte 84 B ... ..	—	—	—	1,05	—
	Hornb. verte 83 B ... ..	5,75	5,00	0,75	4,10	—
	Actinote 71 C ... ..	8,05	4,20	3,85	1,90	—
	Zircon 30 B .. ... ..	—	—	—	2,20	Section // à l'axe optique
	Zircon 14 C .. ... ..	6,70	6,25	0,45	2,90	—
	Actinote n° 2 ... ..	2,60	2,25	0,35	—	Section // à l'allongement
Actinote n° 2 ... ..	5,40	4,30	1,10	—	Section $\perp$ à l'allongement	

TABLEAU III (suite).

Minéraux	$\lambda=5900 \text{ \AA}$			Lumière blanche $B_m = \frac{\log I_1/I_2}{2s \cdot \log 10}$	Orientation de la section	
	$\beta_1$	$\beta_2$	$B =  \beta_1 - \beta_2 $			
$B_m \leq 1$	Hyperstènes . . . . .	—	—	1 à 5	0,19 à 1,80	Section ( $n_g, n_p$ )
	Sphène 102 C . . . . .	1,05	0,95	0,10	0,70	( $\bar{1}, 0, 2$ )
$1 \leq B_m \leq 10$	Aegyrine 87 C . . . . .	6,75	4,00	2,75	3,90	Section (0, 1, 0)
	Staurotide 48 B . . . . .	5,05	2,60	2,45	4,90	—
	Staurotide 50 B . . . . .	—	—	—	3,40	—
	Staurotide 56 C . . . . .	3,90	2,90	1,00	0,04	—
	Staurotide 7 . . . . .	3,55	2,60	0,95	1,40	Section // faces du prisme
	Staurotide 55 C . . . . .	—	—	—	3,80	Section (1, 1, 0)
	Staurotide 49 B . . . . .	6,35	4,70	1,65	4,50	—
	Epidote 100 C . . . . .	3,30	1,80	1,50	3,00	(0, 1, 0)
	Epidote 101 C . . . . .	12,00	8,40	3,60	2,90	(0, 0, 1)
	Epidote 99 C . . . . .	7,20	3,45	3,75	4,90	(1, 0, 0)
	Epidote 91 B . . . . .	—	—	—	6,50	—
	Epidote 92 B . . . . .	12,05	5,35	6,70	3,20	—
	Epidote 5 . . . . .	—	—	—	2,30	Section $\perp$ à l'allongement
	Augite 81 C . . . . .	16,25	9,90	6,35	5,20	(0, 0, 1)
	Rutile 32 B . . . . .	16,80	11,80	5,00	9,45	Section // à l'axe optique
$B_m > 10$	Hornb. basalt. 80 . . . . .	—	—	—	4,84	—
	Hornb. basalt. 49 B . . . . .	—	—	—	7,60	—
	Hornb. basalt. 81 B . . . . .	—	—	—	24,50	—
	Hornb. basalt. 74 C . . . . .	21,90	8,10	13,80	17,20	(0, 1, 0)
	Hornb. basalt. 73 C . . . . .	25,50	11,90	13,65	11,60	(1, 0, 0)
	Hornb. basalt. 8 . . . . .	24,10	11,65	12,45	11,10	(1, 0, 0)
	Sphène 87 B . . . . .	—	—	—	7,30	—
	Sphène 88 B . . . . .	—	—	—	21,90	—
	Biotite D 7 . . . . .	16,05	6,60	9,45	—	Section $\perp$ au clivage
	Biotite D 8 . . . . .	8,85	2,80	6,05	—	Section $\perp$ au clivage
	Biotite 43 F . . . . .	28,15	14,15	14,00	—	Section $\perp$ au clivage
	Tourmaline noire . . . . .	35,85	7,05	28,80	22,40	Section // à l'axe optique
	Tourmaline noire . . . . .	44,35	15,20	29,15	—	Section // à l'axe optique

Minéraux anisotropes, colorés et pléochroïques

274

G. TOUBEAU. — MESURE

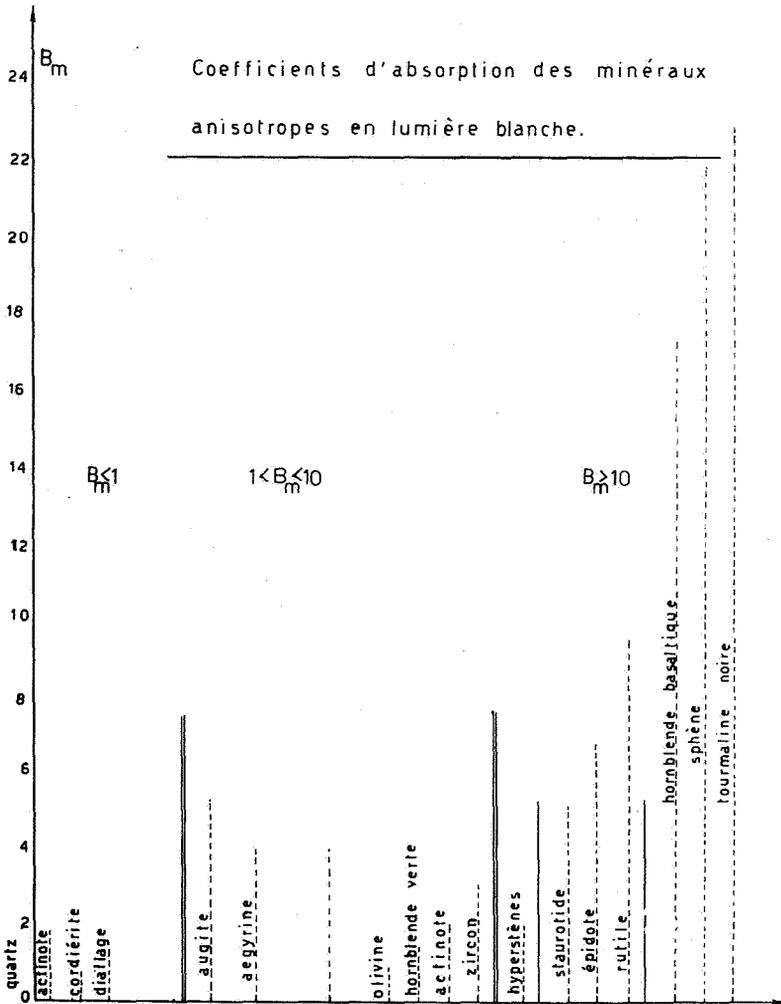


Figure 3

2° Les minéraux anisotropes incolores se comportent pratiquement comme des minéraux isotropes au point de vue de l'absorption lumineuse. Leur biabsorbance est nulle ou très faible et l'anisotropie d'absorption n'est décelable qu'à l'aide d'un micro-ampèremètre ultra-sensible.

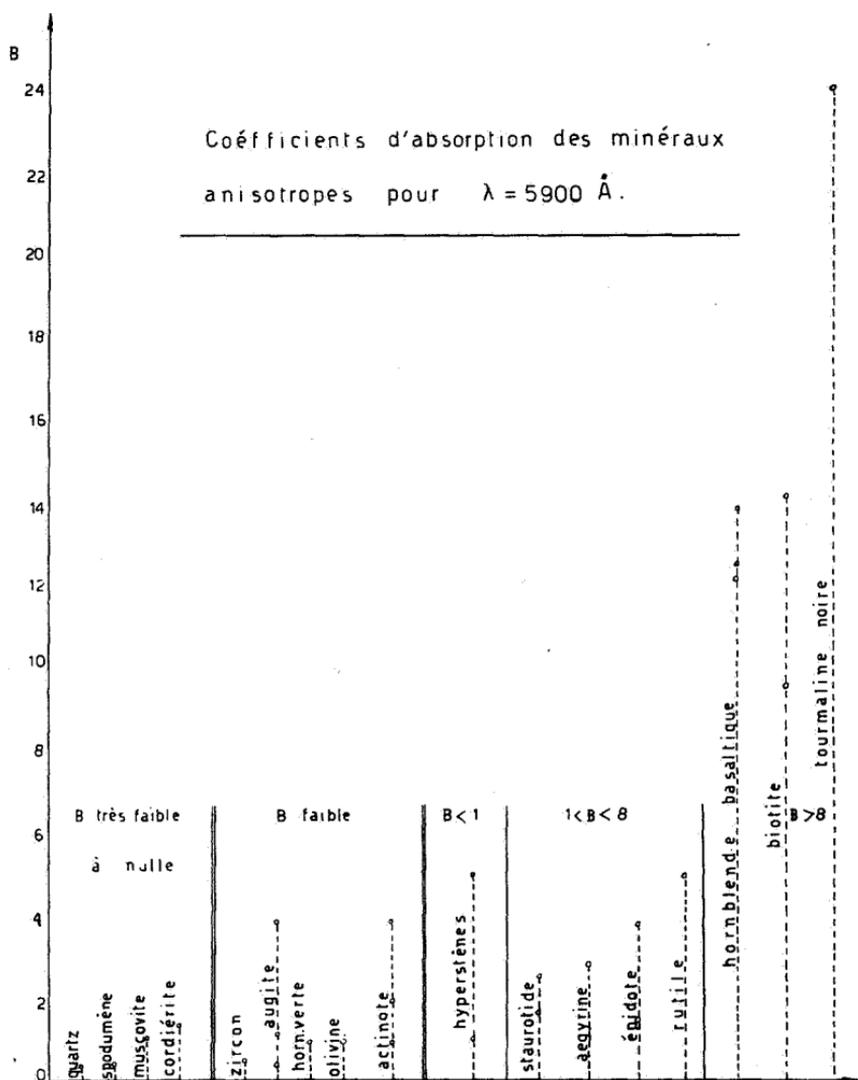


Figure 4

3° Parmi les minéraux anisotropes colorés et non pléochroïques, on notera que malgré la grande valeur des coefficients d'absorption, la biabsorbance reste faible sauf pour certaines variétés d'augites et d'actinotes.

Il faut aussi remarquer que les coefficients d'absorption de ces minéraux sont parfois du même ordre de grandeur que

ceux des minéraux pléochroïques, sans que le minéral soit pour autant pléochroïque. Si les deux indices d'absorption de la section minérale diffèrent peu, il n'y a pas de pléochroïsme.

Lorsque la teneur en certains ions du minéral augmente, les coefficients  $\beta$  se séparent plus nettement et le pléochroïsme peut éventuellement se déclencher. C'est le cas des Augites à teneur en fer croissante et des actinotes et hornblendes sodiques.

Nous vérifions donc que la première condition pour que le pléochroïsme existe dans une section minérale est qu'elle possède deux indices d'absorption suffisamment différents l'un de l'autre, mais pas nécessairement de valeur élevée.

4<sup>o</sup> Pour les minéraux anisotropes et pléochroïques, nous relevons les faits suivants :

Leur biabsorbance est toujours élevée.

Certains minéraux non pléochroïques (Augites, Actinotes) ont une biabsorbance du même ordre de grandeur que celle des minéraux pléochroïques (Hyperstènes, Aegyrine, Staurotide, Épidote).

Nous en concluons immédiatement que l'existence dans un même plan d'onde de deux indices d'extinction différents ne suffit pas à déclencher le pléochroïsme de la section minérale. Le pléochroïsme est lié essentiellement à une absorption sélective qualitativement différente selon les directions de vibration.

L'importance de l'orientation de la section dans l'ellipsoïde des indices d'absorption apparaît ici nettement. Lorsqu'on dispose de sections convenablement orientées, on peut fixer quantitativement la valeur des coefficients principaux d'absorption. La chose est aisée pour les minéraux uniaxes et orthorhombiques, plus compliquée pour les minéraux monocliniques dont il est difficile de préciser les directions principales d'absorption (cas des épidotes par exemple).

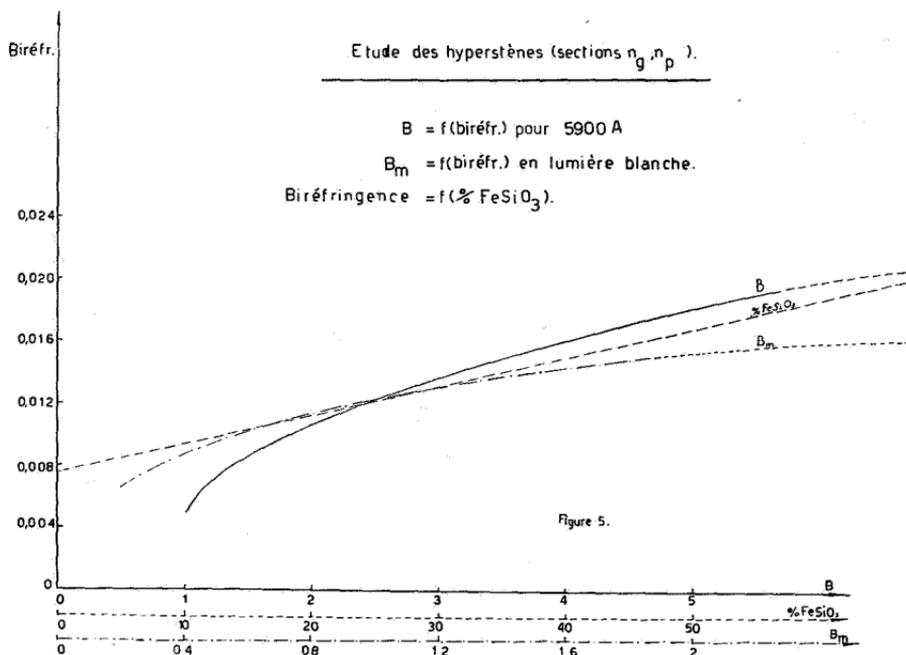
Les minéraux anisotropes et pléochroïques se distinguent par une biabsorbance variable avec la composition chimique et d'autant plus élevée que la teneur en certains éléments est grande. Parmi ces éléments, nous relevons spécialement :

Fe : Tourmaline noire, Biotite, Staurotide, Épidote, Hornblende basaltique, Hyperstènes, Augites ferrifères;

Na : Hornblende verte, Aegyrine;

Ti : Sphène, Rutile, Augite titanifère.

Le rôle de ces ions avait déjà été mis en évidence dans l'étude des grenats notamment le rôle de Fe dans la série Pyrope-Almandin et de Ti dans les mélanites.



A titre d'exemple nous avons étudié la relation qui existe entre la biabsorbance des hyperstènes et la biréfringence liée comme on sait à la teneur en Fe Si O<sub>3</sub> [5]. Les graphiques de la figure 5 montrent que, tant en lumière blanche qu'en lumière monochromatique jaune, la biabsorbance est une fonction croissante de la biréfringence. Elle apparaît ainsi directement liée à la teneur en Fe de l'Hyperstène.

Ultérieurement, nous nous proposons de mettre en évidence le rôle des ions Fe et Na dans quelques séries de minéraux en traçant les courbes  $B = f(\% \text{ Fe ou Na})$ . Nous avons en vue plus particulièrement les épidotes, les biotites (possibilité de distinguer biotite primaire et secondaire), les hornblendes sodiques.

Étude des hyperstènes (Sections  $n_o$ ,  $n_p$ ).

## A. — Lumière blanche.

Lames	$I_1$	$I_2$	$I_1/I_2$	$\log I_1/I_2$	$B_m = \frac{\log I_1/I_2}{2s \cdot \log_{10}^c}$	Biréfringence
45 C	82,50	81,50	1,012	0,00518	0,19	0,0065
47 C	66,00	64,50	1,023	0,00988	0,37	0,0080
36 B	87,75	85,25	1,029	0,01242	0,47	0,0095
54 D-188'	79,50	75,50	1,052	0,02202	0,84	0,0116
37 B	91,50	85,25	1,073	0,03060	1,17	0,0129
39 B	98,00	90,50	1,082	0,03423	1,31	0,0134
38 B	84,25	76,25	1,104	0,04297	1,64	0,0140
41 B	—	—	—	—	1,80	0,0150
54 D-67	96,50	88,50	1,090	0,03743	1,43	0,0135

B. — Lumière monochromatique ( $\lambda=5900 \text{ \AA}$ ).

Lames	$2 \beta_1 \cdot 10^{-2}$	$2 \beta_2 \cdot 10^{-2}$	$B \cdot 10^{-2}$	Biréfringence
45 C	0,0298	0,0195	0,0100	0,0054
47 C	0,0298	0,0195	0,0100	0,0076
49 C	0,0980	0,0860	0,0120	0,0076
38 B	0,0570	0,0400	0,0170	0,0095
37 B	0,0620	0,0350	0,0270	0,0125
54 D-188	0,1900	0,1530	0,0370	0,0132
54 D-188	0,2170	0,1870	0,0300	0,0137
41 B	0,0980	0,0620	0,0360	0,0150
54 D-188'	0,2390	0,1960	0,0430	0,0180
54 D-188'	0,2770	0,2200	0,0570	0,0195

## TROISIÈME PARTIE.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Les résultats de l'étude de l'absorption lumineuse par la méthode photo-électrique servent de préliminaires à la mise au point d'une méthode optique de mesure de la biabsorbance des minéraux.

La méthode photo-électrique nécessite un appareillage encombrant : monochromateur, cellule photo-électrique, galvanomètre de haute sensibilité pour la mesure des faibles variations d'intensité lumineuse. L'usage du monochromateur n'est cependant pas indispensable, la concordance entre les mesures en lumière blanche et en lumière monochromatique étant parfaite.

Cependant, les mesures par cette méthode sont rapides, aisées, facilement reproductibles et, moyennant les précautions mentionnées plus haut, d'une grande sensibilité. Ses principaux avantages sont les suivants :

1° Elle permet une diagnose précise des minéraux isotropes tels que les grenats et les minéraux du groupe de la Sodalite.

2° Il est possible de fixer quantitativement la valeur des coefficients principaux d'absorption si l'on dispose de sections minérales convenablement orientées.

3° La détermination de la teneur du minéral en certains ions est possible par une mesure de la biabsorbance  $B$ , même lorsque cette biabsorbance est faiblement variable (cas des hyperstènes, par exemple). La mesure de ce nouveau coefficient complète utilement la mesure d'autres grandeurs optiques (biréfringence, angle des axes,...) et peut même s'y substituer lorsque la mesure de la biréfringence est difficile (Biotite, Épidote, Staurotide, Tourmaline noire, Hornblendes basaltiques,...).

Mons, juin 1961.

LABORATOIRE DE GÉOLOGIE  
DE LA FACULTÉ POLYTECHNIQUE DE MONS.

**BIBLIOGRAPHIE.**

1. BEUGNIES, A., Optique cristalline. Éditions Delporte, Mons.
  2. BRUHAT, G., 1947, Cours de physique générale : Optique. Éditions Masson & Cie, Paris.
  3. FABRY, C., 1946, Les radiations. Collection Armand Collin, n° 243, Paris.
  4. FRANEAU, J., 1956, Cours de physique générale. Quatrième partie : Les phénomènes ondulatoires. Éditions Delporte, Mons.
  5. WINCHELL, A. N., 1951, Elements of optical mineralogy. John Wiley and Sons, New-York.
-