

Bibliothèque numérique

medic@

**Guillemin, C.-M.. - Composition de la
radiation solaire, son influence sur les
êtres vivants**

1856.

*Paris : E. Thunot et Compagnie,
imprimeurs de l'école de
pharmacie*

Cote : 90975

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(SECTION DES SCIENCES PHYSIQUES).

COMPOSITION

DE LA

RADIATION SOLAIRE,

SON INFLUENCE SUR LES ÉTRES VIVANTS.

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE

PAR

C.-M. GUILLEMIN.



PARIS.

E. THUNOT ET C°, IMPRIMEURS DE L'ÉCOLE DE PHARMACIE,
RUE RACINE, 26, PRÈS DE L'ODÉON.

1856

0 1 2 3 4 5 (cm)

JUGES DU CONCOURS.

MM. DUMAS, membre de l'Institut, président.

GAVARRET, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris.

WÜRTZ, professeur de chimie à la Faculté de médecine de Paris.

MOQUIN-TANDON, membre de l'Institut, professeur d'histoire naturelle à la Faculté de médecine de Paris.

BÉRARD, professeur de chimie à la Faculté de médecine de Montpellier.

BENOIT, professeur d'anatomie à la Faculté de médecine de Montpellier.

KÜSS, professeur de physiologie à la Faculté de médecine de Strasbourg.

RAYER, membre de l'Institut.

CL. BERNARD, membre de l'Institut.

AMETTE (secrétaire).

COMPÉTITEURS.

Anatomie et Physiologie.

MM. BAILLON,
DUPRÉ,
MOREL,
ROUGET.

Physique et Toxicologie.

MM. DUCOM, argum.
REVEIL,
MOITESSIER, argum.
GUILLEMIN.

A

LA MÉMOIRE DE MON PÈRE.

C.-M. GUILLEMIN.

A MON MAITRE ET AMI

M. NATHALIS GUILLOT,

Hommage de reconnaissance et d'affection.

C.-M. GUILLEMIN.

COMPOSITION DE LA RADIATION SOLAIRE.

Les rayons du soleil produisent sur nous deux effets bien distincts ; d'une part ils éveillent dans l'organe de la vue la sensation de la lumière ; d'autre part ils font naître la sensation de la chaleur en impressionnant les nerfs de sensibilité générale.

Mais ces deux propriétés, reconnues immédiatement par nos sens, ne sont pas les seules que possèdent les rayons solaires.

Si l'on fait pénétrer un faisceau de lumière dans l'intérieur d'une chambre obscure, en plaçant sur son trajet un prisme formé d'une substance transparente, telle que le verre, les rayons qui produisent la sensation de lumière tendent à se séparer de ceux qui produisent la sensation de chaleur, et si l'on dispose un thermomètre au delà du rouge, là où il n'y a plus de lumière, ce thermomètre indique une élévation de température de plusieurs degrés. Si, d'un autre côté, on place un papier couvert de chlorure d'argent au delà de la limite du violet, il noircit aussi rapidement que dans la partie lumineuse du faisceau, ce qui démontre l'existence de rayons capables d'engendrer des effets chimiques dans les parties qui ne reçoivent pas de lumière. Enfin, si l'on expose certaines substances, telle que le sulfure de calcium ou de barium dans des parties déterminées de la ligne du spectre, ces substances acquièrent la propriété de répandre une lueur phosphorescente dans l'obscurité.

La radiation solaire produit donc quatre séries d'effets différents :

- 1° Une sensation de lumière en impressionnant la rétine (*radiation lumineuse*);
- 2° Une élévation de température des corps (*radiation calorifique*);
- 3° Des modifications profondes dans la constitution chimique de certains composés (*radiation chimique*);
- 4° Des changements dans l'état physique de quelques corps qui acquièrent la propriété de devenir eux-mêmes lumineux sous l'influence des rayons solaires (*radiation phosphorogénique*).

RADIATION LUMINEUSE.

Quand on regarde à travers un prisme des bandes de papier de diverses couleurs disposées sur la même ligne horizontale, les arêtes du prisme étant parallèles à cette ligne, on aperçoit les bandes colorées à des hauteurs différentes : le violet est placé plus haut que le vert et le vert plus haut que le rouge. Cette expérience indique que le violet est plus fortement réfracté que le vert, et que ce dernier est plus fortement réfracté que le rouge, c'est-à-dire que les différents rayons subissent des réfractions inégales.

Supposons qu'un faisceau de lumière solaire pénètre par l'ouverture circulaire du volet d'une chambre obscure et que ce faisceau cylindrique soit reçu sur un prisme dont l'arête soit horizontale et la base tournée à la partie inférieure, le plan d'incidence étant vertical, le faisceau, blanc avant de pénétrer dans le prisme, sera dévié vers la base et fortement coloré des nuances de l'arc-en-ciel ; on a donné à ce phénomène le nom de dispersion. En recevant sur un écran cette image altérée du soleil qu'on appelle le spectre solaire, on reconnaît que cette image, agrandie seulement dans le sens vertical, conserve ses dimensions transversales ; et, parmi un très-grand nombre de nuances, on en distinguera sept principales qui sont, de haut en bas, *le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet* ; chaque couleur passe à la couleur voisine par des nuances insensibles. Mais si le prisme, formé d'une substance

convenablement choisie, d'un angle réfringent assez grand, est placé dans la position du minimum de déviation, chaque teinte paraît sensiblement homogène dans une certaine étendue, et on peut alors s'assurer qu'elle est indécomposable dans cette étendue limitée. Si, en effet, on place sur le trajet du spectre un écran percé d'une petite ouverture, et qu'on fasse passer par cette ouverture successivement les teintes diverses, on ne remarque aucune altération quand on les reçoit sur un second ou sur un troisième prisme, il y a déviation mais plus dispersion, et on observe alors que chaque couleur est d'autant plus fortement réfractée qu'elle est plus voisine du violet. On peut rendre évidente cette inégalité dans la réfrangibilité des rayons du spectre par l'expérience des prismes croisés due à Newton. Un prisme dont l'axe est horizontal reçoit un faisceau de rayons solaires et donne naissance à un spectre vertical. On dispose un second prisme verticalement derrière le premier de telle manière que le spectre tombe sur l'une de ses faces. Ce second prisme dévie les faisceaux lumineux latéralement et le spectre qu'on obtient en dernier lieu serait encore vertical si tous les rayons étaient également réfringibles. On observe, au contraire, que le nouveau spectre est oblique et qu'il présente l'aspect d'un trapèze, l'extrémité violette est la plus large et la plus éloignée de la base, l'extrémité rouge est au contraire la plus étroite et la plus rapprochée ; il est évident, d'après cela, que les rayons violet sont plus fortement réfractés que les rayons rouges et que la réfrangibilité des rayons intermédiaires va en diminuant des premiers aux derniers. Le faisceau blanc se décompose donc en traversant le prisme en sept faisceaux différents, mais ces derniers sont simples et indécomposables.

On acquiert la conviction la plus complète que la lumière est formée par la superposition des sept rayons du spectre en les ramenant tous au même point à l'aide d'un miroir concave ; si on place un écran dans le lieu où se fait la superposition on obtient du blanc, tandis qu'en deçà et au delà les rayons se retrouvent séparés.

On peut encore opérer la superposition en se servant d'un appareil formé de sept petits miroirs qu'on peut incliner dans tous les sens. On projette successivement sur le même point d'un tableau les sept rayons, et on voit que leur réunion produit la sensation du blanc. On peut de plus,

à l'aide de ces miroirs, superposer deux ou plusieurs couleurs et apprécier la nature de la sensation complexe. C'est ainsi que la superposition du rouge et du jaune donne de l'oranger, celle du bleu et du jaune donne du vert, le bleu et le violet donnent l'indigo, etc. Si on projette sur un même point un certain nombre de couleurs et sur un autre les couleurs restantes, on obtient deux teintes qui, par leur réunion, reproduisent nécessairement du blanc; ces deux teintes sont dites *teintes complémentaires*.

La recomposition de la lumière peut être opérée par un second prisme de même substance et de même angle réfringent que le premier, et placé en sens inverse, de manière que les faces des angles dièdres soient respectivement parallèles. Le faisceau qui sort du second prisme est blanc et semble n'avoir éprouvé aucune coloration. En traversant le second prisme, la lumière subit des réfractions contraires à celles qui lui ont été imprégnées par le premier; ces actions égales et de sens opposé se sont détruites, et la lumière, successivement décomposée et recomposée, conserve la teinte blanche primitive.

Le phénomène de la décomposition du rayon solaire par les substances réfringentes, a été entrevu par Descartes, puis étudié et complètement analysé par Newton.

Ce dernier ayant reconnu que les différents milieux diaphanes réfractent et dispersent inégalement la lumière, avait admis que le pouvoir dispersif était toujours proportionnel au pouvoir réfringent et il déduisait de ce principe, admis *à priori*, qu'il est impossible de dévier la lumière sans la décomposer.

Dès 1733, Hall, en partant de cette considération que l'œil est achromatique, avait émis une opinion contraire à celle de Newton, et en 1757, Jean Dollond parvint à construire des lentilles achromatiques.

Dès lors l'application des procédés imaginés pour détruire les rayons, semblait réclamer une étude nouvelle du spectre solaire.

C'est en poursuivant des recherches dans ce but que Fraünhofer, célèbre opticien de Munich, est parvenu à la découverte d'un phénomène le plus important et le plus inattendu, présenté par un spectre d'une pureté parfaite, *l'image colorée est traversée par des raies noires plus ou moins visibles dans toute son étendue*.

Pour constater ce phénomène, on introduit dans la chambre obscure un faisceau de lumière pénétrant par la fente étroite et verticale d'un volet : ce faisceau, après avoir traversé une lentille cylindrique, d'un très-court foyer, est reçu sur un écran qui présente une fente très-étroite de $1/3$ de millimètre de largeur.

Enfin, plus loin se trouve un prisme très-pur et très-homogène dont l'arête est verticale et placé dans la position du minimum de déviation. Un bon objectif achromatique, qui est du reste immédiatement en contact avec le prisme, concentre en son foyer tous les rayons incidents de différentes teintes du spectre. Alors, en plaçant sur l'axe de la lentille un écran vertical très-uni, on reçoit un spectre rectangulaire horizontal dont la surface est sillonnée d'une grande quantité de raies verticales obscures et étroites. Ces raies sont disséminées d'une manière très-inégale dans toute l'étendue du spectre solaire.

Fraünhofer en a distingué sept principales qu'il a désignées par les lettres de l'alphabet B, C, D, E, F, G, H (1). Chacune de ces lettres correspond à une teinte du spectre : B est dans le rouge, C entre le rouge et l'orangé, D dans l'orangé, E dans le vert, F dans le bleu, G dans l'indigo et H dans le violet, Fraünhofer en a compté plus de cinq cents.

Il existe donc, outre ces sept raies principales, d'autres raies moins visibles, excessivement nombreuses et disséminées avec la même irrégularité dans toute l'étendue du spectre solaire.

Fraünhofer s'est assuré que les raies ne sont pas dues à la diffraction qui pourrait provenir des bords de la fente rectiligne ; car, en substituant à la fente une ouverture circulaire, il a obtenu les mêmes raies, quoique un peu moins visibles.

Ce phénomène paraît être dû à une variation brusque dans la réfringibilité des rayons qui composent le spectre, la diminution subite de l'indice de réfraction doit donner lieu à des espaces moins éclairés qui apparaissent comme des lignes obscures relativement aux parties voisines

(1) La lettre A marque la limite du rouge visible et la lettre I marque celle du violet. En A il existe une raie très-visible.

plus fortement éclairées qu'eux ; de même l'augmentation brusque de l'indice de réfraction doit donner lieu à des raies brillantes.

Ces raies conservent la même position relative pour la lumière solaire quelle que soit la substance réfringente employée (1), et l'angle réfringent du prisme ; elles caractérisent cette lumière comme elles caractérisent les rayons émanés de toutes les autres sources lumineuses. La lumière de nuages, la lumière réfléchie sur une surface blanche, la lumière de la lune et celle des planètes, telles que Vénus, Mars, Jupiter, donnent les mêmes raies que la lumière solaire, seulement ces raies sont moins apparentes. La lumière des étoiles paraît en général donner des raies noires comme celle du soleil qui, lui-même, n'est qu'une étoile ; Sirius, par exemple, donne des raies noires bien marquées, mais disposées autrement que celles de la lumière solaire.

La lumière électrique donne des raies brillantes ; ces raies changent de position et de forme, suivant la nature des corps employés à transmettre le courant, mais pour chaque métal on observe des raies constantes, et qui peuvent servir à le faire reconnaître. Un mélange de deux métaux donne la réunion des deux systèmes propres à chacun d'eux.

On a déterminé les indices de réfraction correspondant à chaque couleur, en prenant pour point de repère les différentes raies du spectre ; la différence des indices de réfraction des deux couleurs extérieures du spectre solaire est appelée *coefficient de dispersion*, donnée qui varie d'une substance diaphane à l'autre. C'est à l'aide de ces coefficients de dispersion qu'on peut calculer l'angle et les rayons de courbure qu'il convient de donner aux prismes et aux lentilles que l'on associe pour produire l'achromatisme.

Cette composition de la lumière solaire suffit pour expliquer la couleur propre des corps et les teintes si multipliées qu'ils présentent. Aucun corps n'est opaque d'une manière absolue : tous se laissent traverser par la lumière, et sont transparents lorsqu'ils sont en lames suffisamment minces. Toute particule matérielle est douée de la faculté d'absorber une

(1) Crown, flint, liquide, etc.

partie de la lumière qui tombe sur sa surface, le reste traverse la particule ou bien est réfléchi : cette dernière partie de la lumière incidente, généralement réfléchie irrégulièrement ou dispersée dans toutes les directions, est celle qui rend le corps visible.

Chaque corps a donc la propriété de disperser une des couleurs du spectre en plus grande proportion que les autres. Il suit de ces principes que si l'on place un corps dans le spectre coloré, il offre la teinte de la partie dans laquelle il est plongé; mais l'intensité de la lumière qu'il diffuse est d'autant plus grande que la couleur qui tombe sur la surface est plus voisine de sa couleur propre. Ainsi, un corps vert placé dans la lumière verte du spectre paraît aussi lumineux que lorsqu'il est dans la lumière blanche, tandis que, placé dans l'orangé, il présente cette même coloration mais très-faible; enfin, plongé dans le rouge, il paraît presque noir.

La plupart des corps doivent leur coloration à des causes analogues ou à des substances qui jouissent elles-mêmes de la propriété de disperser de préférence certains rayons de lumière: les parties vertes des plantes doivent, par exemple, leur coloration à la chlorophylle déposée dans leurs cellules. L'iris des animaux doit sa coloration à un pigment particulier répandu sur la surface de cette membrane; la peau du nègre présente la teinte noire de la couche de pigment sousjacente à l'épiderme: mais il est un grand nombre d'autres substances, telles que le plumage des oiseaux, dont les teintes très-vives dépendant d'une tout autre cause: ces colorations sont dues à des interférences des rayons lumineux dans leur trajet à travers des lames minces; elles reconnaissent la même cause que les couleurs vives et variées que présentent les bulles de savon ou les boules de verre soufflé très-minces; enfin il se produit des phénomènes semblables à ceux des réseaux. L'explication de ces couleurs sortant des limites de la question que le jury m'a imposée, je ne fais que l'indiquer ici.

Fraünhofer a imaginé de mesurer l'intensité de la lumière comprise dans les différentes parties du spectre en faisant pénétrer dans une lunette d'une construction particulière le faisceau réfracté sortant d'un prisme; la moitié du faisceau seulement arrive à l'observateur, mais l'œil reçoit en outre la lumière jaunâtre d'une lampe, de sorte que le champ de la lunette paraît

divisé en deux parties, l'une occupée par les rayons colorés du spectre, l'autre éclairée par la lumière de la lampe : on peut placer cette dernière à une distance telle que les deux lumières aient la même intensité. La loi de la raison inverse du carré des distances permet alors de comparer avec exactitude les intensités des diverses teintes du spectre.

Fraünhofer a vu ainsi que la partie la plus brillante du spectre est comprise entre la raie D et E, près de la limite du jaune et de l'oranger. On peut représenter par un procédé graphique la variation des intensités de la lumière dans les différentes parties du spectre, en prenant sur une ligne horizontale des longueurs proportionnelles aux distances qui séparent les raies, et en élevant sur chaque point des perpendiculaires proportionnelles aux intensités de la lumière. La courbe que l'on obtient représente les intensités et leurs variations. Cette courbe a naturellement pour limites l'extrême rouge et l'extrême violet, et pour maximum la limite du jaune et de l'orangé : nous verrons plus tard que les courbes représentant les autres radiations affectent des formes et des positions différentes, et la comparaison nous amènera à quelques données générales sur la nature interne de ces diverses radiations.

RADIATION CALORIFIQUE.

La lumière solaire est toujours accompagnée de chaleur, mais ces deux effets, bien que réunis dans le même faisceau, peuvent dans certaines circonstances se séparer et paraître indépendants l'un de l'autre.

Mariotte a le premier fait connaître la différence de la radiation lumineuse et de la radiation calorifique par une expérience très-simple. On concentre la chaleur au foyer d'un miroir concave de manière à enflammer l'amadou, puis on place entre le foyer et le miroir une lame de verre qui arrête assez les rayons calorifiques pour que la substance inflammable ne puisse plus prendre feu et cependant la lumière n'est pas sensiblement diminuée ; le verre a donc la propriété de laisser passer la lumière solaire sans l'affaiblir sensiblement et, au contraire, d'arrêter la chaleur.

Lambert a fait observer que si l'on concentre les rayons solaires avec une

lentille convergente et un miroir concave ayant même ouverture et même foyer, ou trouve moins de chaleur et plus de lumière au foyer de la lentille qu'au foyer du miroir concave; ce fait démontre que la lentille concentre plus de lumière et moins de chaleur; le miroir, au contraire, concentre plus de chaleur et moins de lumière.

Il est important de savoir ce que deviennent les radiations calorifiques après la réfraction des faisceaux solaires dans l'intérieur d'un prisme réfringent. C'est à Herschell que sont dues les premières recherches de ce genre. En plaçant des thermomètres dans les différentes parties du spectre, il trouva les rapports suivants pour les températures observées.

Violet.	16
Vert.	22
Rouge.	55

Herschell, en poursuivant ces recherches, découvrit qu'un thermomètre placé au delà du rouge et dans la ligne du spectre solaire, indiquait une élévation de température de quelques degrés; il avait reconnu que le maximum de lumière se trouve au centre du jaune et le maximum de chaleur vers le rouge extrême. Tous ces travaux n'ont fourni sur ce sujet que des données assez vagues.

Le premier travail étendu et réellement important sur cette matière est dû à l'un de nos juges, M. Bérard.

Un faisceau lumineux de 12 millim. de diamètre environ fut introduit dans une chambre obscure à l'aide d'un héliostat. Ce faisceau, reçu sur un prisme de flint-glass dont l'axe était vertical, s'étalait en sortant du prisme sur un large spectre solaire dont le grand diamètre était horizontal. Cinq thermomètres à réservoirs sphériques de 4 millim. de diamètre et préalablement noircis à la fumée d'une chandelle, furent placés dans les différents rayons du spectre. On avait introduit entre chaque boule un petit écran de carton noirci afin que la température de l'une ne pût avoir aucune influence sur celle de la voisine; un autre thermomètre était dans l'obscurité, au delà du violet, c'est à ce dernier que l'on comparait tous les autres.

L'un des cinq thermomètres fut placé à 20 millim. de la limite du rouge, c'est-à-dire dans l'obscurité complète, un second dans le rouge, un troisième au centre des rayons bleus, un quatrième à la ligne qui termine le violet, un cinquième à 38 millim. de la même ligne. Les températures indiquées par les cinq thermomètres devinrent stationnaires au bout de cinq minutes et, en les comparant au thermomètre qui se trouvait à 38 millim. de la ligne du violet, on observa les excès de température suivants :

Un peu en dehors du violet.	0°,0	Moitié dans le rouge, moitié	
Au centre du violet.	0°,4	dans l'obscurité.	3°,0
Dans le centre de l'indigo.	0°,2	Hors du rouge et très-près.	2°,2
Dans le bleu.	0°,6	A 5 mm. de la ligne rouge.	1°,96
Dans le vert.	1°,1	A 7 mm. de la même ligne.	1°,1
Dans le jaune.	2°,2	A 10 mm.	0°,86
Dans l'oranger.	2°,7	A 13 mm.	0°,4
Dans le rouge près l'oranger.	3°,1	A 18 mm.	0°,32
Dans le rouge extrême. . .	4°,0	A 21 mm.	0°,2

On voit par ce tableau 4° que l'excès maximum indiqué se trouve dans le rouge; 2° qu'un thermomètre placé au delà du violet le plus réfrangible n'indique pas d'excès de température; 3° que la chaleur des rayons colorés va toujours en croissant à mesure que la réfrangibilité diminue des rayons violets aux rayons rouges; 4° qu'il arrête au delà du rouge des rayons qui n'impressionnent pas la rétine, élèvent la température du thermomètre; ces derniers ont été appelés *rayons calorifiques*.

M. Bérard a constaté que les rayons calorifiques sont compris entre les deux lignes longitudinales qui terminent la bande représentée par le spectre, et à l'aide d'un thermomètre à air il s'est assuré que l'impression de chaleur s'étendait à 26 millimètres au delà de la limite du rouge.

Ayant substitué un prisme biréfringent de spath calcaire au prisme de flint, M. Bérard a constaté d'un manière très-nette que *dans chacun des spectres formés par ce prisme, l'extrémité du rouge était la plus chaude*, d'où

il a tiré cette conclusion importante *que la chaleur subit la double réfraction comme la lumière.*

A l'aide de l'appareil à deux miroirs, servant à montrer la polarisation par réflexion, M. Bérard a le premier reconnu *que la chaleur n'est plus transmise après deux réflexions successives sous l'angle de polarisation, et quand les plans d'incidence sont perpendiculaires entre eux, la chaleur peut donc être polarisée comme la lumière.*

Cette propriété a été constatée non-seulement sur la chaleur solaire, mais encore sur la chaleur obscure émise par une boule de cuivre ayant une température assez basse pour n'être pas visible dans l'obscurité.

C'est donc à M. Bérard que revient la découverte de la polarisation de la chaleur; plus tard elle fut niée par Powell, Nobili, puis cette étude fut reprise par Melloni qui trouva que pour certains rayons de chaleur la polarisation est aussi marquée que pour la lumière; cette propriété varie beaucoup du reste d'une source à l'autre suivant la nature du flux calorifique.

Dans ces dernières années, la polarisation de la chaleur a reçu de grands et importants développements par les beaux travaux de MM. de Laprovostaye et Dessains. Je dois signaler ici quelques-uns de leurs résultats :

En traversant un prisme de spath, un faisceau de chaleur se divise en deux parties égales et complètement polarisées, l'une dans la section principale, l'autre dans un plan perpendiculaire.

Dans un second prisme, ces faisceaux se partagent conformément à la loi de Malus.

Sur le verre ils se réfléchissent avec des intensités conformes à la loi de Fresnel.

Sur les métaux ils se réfléchissent comme la lumière.

Le flint soumis à l'électro-aimant dévie le plan de polarisation de la chaleur comme il dévie celui de la lumière.

La térébenthine, les dissolutions de sucre et en général les liquides actifs sur la lumière, sont pareillement actifs sur la chaleur.

Herschell avait trouvé le maximum de chaleur au delà du rouge, dans la partie invisible du spectre; M. Bérard l'avait trouvé, au contraire, au milieu du rouge et non au delà; Andryani avait signalé, d'un autre côté, le jaune comme étant la partie la plus chaude du spectre solaire. Seebeck

découvert la cause de ces discordances, en faisant voir que la position du maximum de chaleur change avec la nature de la substance réfringente. En formant différents prismes ayant le même angle, avec des substances diverses, on trouve avec

L'eau	} le maximum dans le jaune.	
L'alcool.		
L'huile de térébenthine. . .		
L'acide sulfurique concentré.		l'oranger.
Le crown-glass.	—	le rouge moyen.
Le verre à glace.	—	le rouge sombre.
Le fint-glass anglais.	—	la partie obscure au delà du rouge.

La divergence des résultats s'explique maintenant : M. Bérard s'est servi d'un prisme de flint; Andryani, d'un prisme d'eau; Herschell, d'un prisme de flint d'une composition un peu différente.

La radiation calorifique varie donc suivant la nature des écrans qu'on interpose sur le trajet des rayons de chaleur. Ces rayons jouissent de toutes les propriétés des rayons de lumière et éprouvent de la part des milieux pondérables des effets analogues.

Delaroche avait mis hors de doute la transparence de certains corps pour la chaleur; mais l'étude et la distinction des différents rayons calorifiques est due à Melloni.

Ces recherches ont été faites à l'aide du thermo-multiplicateur sur des sources de chaleur telle que la lampe de Locatelli, un cube de cuivre porté à différentes températures, la chaleur de l'eau bouillante, etc. Avant d'exposer les propriétés analogues de la chaleur émanée du soleil, je dois faire connaître l'ensemble des résultats auxquels est arrivé Melloni en étudiant la chaleur artificielle.

Des plaques de diverses épaisseurs d'une même substance ont été présentées à une même source de chaleur; ici encore la chaleur s'est comportée comme la lumière, c'est-à-dire que plus l'épaisseur traversée par la chaleur est grande, plus cette chaleur est apte à traverser de nouvelles couches de la même substance.

Certains corps qui sont presque opaques pour la lumière laissent au contraire passer facilement la chaleur, tel est le quartz enfumé. Il en est d'autres qui présentent la propriété inverse, la lumière les traverse facilement, mais ils sont opaques pour la chaleur. On a donné le nom de *diathermanes* aux corps qui jouissent de la propriété de laisser passer les rayons calorifiques, et on désigne sous le nom d'*athermanes* les substances qui ne livrent pas passage à la chaleur rayonnante. On a nommé *pouvoir transmissif* d'un corps le rapport de la quantité de chaleur qui le traverse à la quantité de chaleur incidente, en prenant pour unité la quantité de chaleur qui passe pendant l'unité de temps à travers une section égale à l'unité de surface.

Il existe des corps qui sont colorés par la chaleur, ainsi le verre laisse passer assez bien la chaleur provenant des sources à haute température, tandis qu'il arrête presque complètement les rayons de basse température.

Le sel gemme est de tous les corps connus le plus transparent par tous les rayons de chaleur quels qu'ils soient; il laisse passer dans la même proportion les rayons émanés de toutes les sources, et on peut le caractériser à ce point de vue en disant qu'il est incolore pour la chaleur comme le verre blanc pour la lumière.

En taillant des prismes de sel gemme, Melloni est parvenu à réfracter la chaleur et à obtenir *un spectre calorifique* comparable au spectre lumineux; en disposant sur le trajet du faisceau sortant du prisme la pile thermo-électrique, il a démontré que le faisceau de chaleur émergent se rapproche de la base du prisme d'autant plus que la source est plus chaude et qu'au contraire il est d'autant moins dévié que la température de la source est plus basse. En sorte que les rayons calorifiques de basse température doivent être assimilés aux rayons lumineux rouges, et les rayons calorifiques de haute température sont les analogues des rayons violets.

L'alun doit, sous ce rapport, être comparé aux rayons violets les plus fortement colorés, le sel gemme enfumé est au contraire l'analogue des verres rouges. La chaleur qui a traversé l'une de ces substances traverse avec facilité une lame de même nature comme la lumière qui a traversé un verre violet passe facilement à travers un milieu de même couleur.

Quand un faisceau de rayons lumineux solaires traverse un verre coloré

d'une épaisseur suffisante, un verre rouge, par exemple, il y est absorbé en partie, le faisceau émergent qui ne contient plus que les rayons rouges du faisceau incident étant reçu sur un deuxième verre de même couleur, le traverse sans y éprouver de déperdition sensible, mais si on lui présente un verre coloré en bleu ou en violet il est complètement absorbé.

De même la chaleur solaire qui a traversé une lame de verre blanc de 5 ou 6 millimètres d'épaisseur et qui a subi dans cette lame une absorption considérable traverse presque intégralement une deuxième lame de même substance, tandis qu'elle est en grande partie absorbée par une lame de quartz ou par une lame de sel gemme. Le verre blanc, le quartz, le sel gemme jouent donc le rôle de substances différemment colorées par rapport à la chaleur solaire, et les rayons qui ont pu traverser le verre sans y être absorbés sont d'une couleur, *d'une thermocrôse*, différente de celle des rayons qui pourraient traverser le quartz ou le sel gemme en fumé.

Si l'on reçoit sur des substances différemment colorées un faisceau de rayons solaires, chacune de ces substances fait un choix parmi les rayons qui composent le faisceau incident; elle éteint ou absorbe la plupart de ceux dont la couleur n'est pas sa propre couleur.

Les rayons lumineux *diffusés* par des substances différemment colorées sont inégalement transmissibles à travers un même verre coloré. Un verre bleu, par exemple, laissera passer presque tous les rayons diffusés par un papier bleu, tandis qu'il arrêtera presque tous les rayons diffusés par un papier rouge.

Les corps mats exercent sur les rayons calorifiques une action élective toute semblable. En recevant sur une même lame diathermane, sur une lame de spath d'Islande, par exemple, soit un faisceau de rayons directs, soit un faisceau de rayons diffusés à la surface de papiers recouverts de différentes substances, M. Knoblauch, de Berlin, a reconnu que la proportion de chaleur absorbée par la lame diathermane varie considérablement, selon que les rayons ont été diffusés sur telle ou telle surface.

Pour déterminer la températures des rayons colorés, il faut se servir d'un prisme de sel gemme et opérer sur le spectre solaire à 7 ou 8 mètres de distance; les corps thermoscopiques doivent n'avoir qu'une très-faible largeur; quand on ne se met pas dans ces conditions, les rayons calo-

risques obscurs se mêlent aux chaleurs propres des éléments lumineux. Avec ces précautions, on reconnaît que l'excès de température est à peine sensible sur le violet, il est faible sur l'indigo et le bleu; mais à partir du bleu la chaleur augmente rapidement, elle est considérable sur le jaune, l'orangé et le rouge; au delà du rouge, la température augmente jusqu'à un certain point, pour décroître ensuite, et devenir nulle à une distance de l'extrémité rouge égale à la longueur du spectre lumineux. Le maximum de chaleur est donc situé au delà du rouge, dans la partie complétement obscure (*Voir le dessin*).

Ces variations dans la distribution de la chaleur sont figurées par une courbe dont chaque élément est à une distance de la ligne horizontale AP proportionnelle à l'intensité de la chaleur du point correspondant du spectre calorifique normal, obtenu à l'aide du prisme de sel gemme.

Il est évident que si l'on employait un autre prisme, tous les rayons ne passeraient pas en égale proportion, et la courbe serait différente.

MM. Fizeau et Foucault ont reconnu que deux rayons calorifiques interfèrent comme les rayons lumineux quand on les fait réfléchir sur des miroirs faisant entre eux un angle très-obtus. Les températures ont été mesurées par des thermomètres à alcool, dont les réservoirs avaient 1^{mm}, 1 de diamètre, et capables de montrer des différences égales à 1/400 de degré; les variations de température éprouvées par ces thermomètres ont nettement établi l'existence dans les rayons réfléchis de franges calorifiques, analogues aux franges lumineuses produites dans l'expérience de Fresnel.

La radiation solaire, dans un lieu d'une étendue déterminée de la surface de la terre, diminue à mesure que la latitude s'accroît; quand on s'avance vers le nord, l'obliquité des rayons augmente et l'intensité de la lumière s'affaiblit. A cette cause astronomique il s'en ajoute une autre toute physique: l'abaissement de la température dans les régions quiavoisinent les pôles favorise d'une manière permanente la condensation des vapeurs répandues dans l'air, et amenée des régions plus chaudes par les courants atmosphériques, la transparence de l'atmosphère est constamment troublée par la vapeur vésiculaire qui s'y forme et la radiation solaire affaiblie d'autant.

Dans les régions voisines de l'équateur, au contraire, une température

assez élevée maintient à l'état de vapeur parfaite l'eau répandue dans l'atmosphère, la radiation solaire lumineuse n'est affaiblie par aucune cause et présente son maximum d'éclat; la teinte bleue du ciel, due à l'absorption d'une partie des rayons solaires par l'atmosphère, est d'une pureté parfaite.

La chaleur solaire suit les mêmes variations; mais quand on cherche à évaluer la quantité de chaleur reçue dans un lieu du globe, les phénomènes sont beaucoup plus complexes que pour la lumière. Aux deux causes précédentes d'affaiblissement du rayonnement calorifique se joignent de nombreuses causes locales et accidentelles, dues à la direction des vents prédominants de la contrée, à la disposition des chaînes de montagnes, à la hauteur du lieu au-dessus du niveau de la mer, à son voisinage de l'Océan, etc.

Quand on veut déterminer la quantité de chaleur envoyée par le soleil, il faut avoir recours à l'expérience. De Saussure employait, à cet effet, un instrument appelé héliothermomètre, qui consiste en une boîte dont l'intérieur est tapissé de corps noirs, mauvais conducteurs de la chaleur, et fermée d'un côté par des lames transparentes; on introduit un thermomètre à boule noircie, et on expose l'appareil de manière que les rayons solaires frappent perpendiculairement la lame de verre. La chaleur est pour ainsi dire condensée dans cette caisse, à cause de la propriété qu'elle a de traverser facilement le verre en entrant avec la lumière, et de ne plus le traverser avec la même facilité lorsqu'elle marche en sens opposé sous forme de chaleur obscure.

Herschell s'est servi d'un appareil peu différent et qu'il a nommé actinomètre; mais le premier est plus simple et rend les mêmes services.

M. Pouillet a imaginé un instrument qu'il a appelé pyrhéliomètre, et qui consiste à mesurer la température d'une certaine masse d'eau, dans laquelle on fait arriver les rayons solaires directs ou concentrés par une lentille.

M. Pouillet a trouvé par son procédé que « si la quantité totale de chaleur que la terre reçoit du soleil, dans le cours d'une année, était uniformément répartie sur tous les points du globe, et qu'elle y fût employée, sans perte aucune, à fondre la glace, elle serait capable de fondre une couche de glace qui envelopperait la terre entière, et qui aurait une épaisseur de 30^m,89. »

A ces causes de variations qui dépendent des saisons et de la latitude, il se joint la variation diurne; mais les principes qui viennent d'être exposés s'appliquant à cette dernière aussi bien qu'à la variation dépendant de la latitude, de plus grands développements sortiraient des limites qui me sont imposées.

RADIATION CHIMIQUE.

L'action de la lumière sur certaines combinaisons telles que les sels d'argent est connue depuis fort longtemps, mais les premiers essais faits dans le but de déterminer dans quelle partie du spectre se trouvent les rayons capables de produire des effets chimiques ne remontent qu'à Scheele et à Wollaston.

Scheele formait une pâte avec du chlorure d'argent et de l'eau pure, il l'étendait en couches minces et uniformes sur du papier, en exposant cette substance à l'action du spectre solaire; il vit que l'action commençait dans le bleu et dans le violet et s'étendait de ce côté beaucoup au delà de la partie visible, les parties comprises entre le bleu et le rouge furent attaquées plus lentement.

Répétés par Wollaston et par Ritter, qui parvinrent aux mêmes résultats que Scheele, ces essais démontrent que le spectre contient des rayons agissant chimiquement dans les parties dépourvues de la propriété d'impressionner la rétine.

Peu de temps après Seebeck étudia l'influence des différentes teintes du spectre sur le mélange détonant de chlore et d'hydrogène; il introduisit ce mélange dans des cloches rouges, bleues et violettes; les rayons solaires ne déterminèrent pas la réaction dans la cloche rouge, la combinaison s'effectua au contraire assez rapidement dans les deux autres.

M. Bérard a fait sur ce sujet de nombreuses expériences à l'aide de petits flacons allongés de trois centimètres cubes de capacité qu'il remplissait du mélange détonant de chlore et d'hydrogène. Après l'action de la lumière on ouvrait le flacon sous l'eau, et on jugeait à la quantité d'eau qui rentrait du volume des gaz combinés. Les deux flacons plongés dans le violet et au delà se remplirent presque complètement, ils avaient du

reste perdu leur coloration verte; le flacon plongé dans le bleu n'avait pas tout à fait perdu sa couleur, l'eau ne l'a rempli qu'à moitié; il n'est entré que quelques gouttes de liquide dans le flacon exposé aux rayons jaunes, la teinte verte n'avait pas diminué sensiblement; le résultat a été le même pour le flacon placé dans le rouge. Le maximum d'action chimique a paru se trouver dans le rayon violet extrême; cependant la partie invisible située au delà a paru agir avec presque autant d'énergie.

Par d'autres expériences, M. Bérard a reconnu que les rayons chimiques se comportent en général comme les rayons lumineux; ainsi le verre transparent les laisse passer, mais ils ne traversent plus une lame de verre noircie à la fumée d'une chandelle; ils sont réfléchis par les surfaces métalliques polies et ne sont plus réfléchis par les mêmes surfaces noircies; ils peuvent être réunis en un foyer soit par une lentille, soit par un miroir concave.

Enfin, après deux réflexions successives sur une surface vitreuse et sous une incidence de 35° avec le plan réfléchissant, ils cessent d'être transmis lorsque les plans d'incidence sont perpendiculaires entre eux, ou autrement *les rayons chimiques peuvent être polarisés comme les rayons lumineux.*

Les radiations chimiques paraissent donc être soumises aux mêmes lois que les radiations lumineuses; ce qui précède montre de nombreuses analogies entre ces deux radiations. Ces ressemblances ont mis Niepce et Daguerre sur la voie du procédé à l'aide duquel ils sont parvenus à fixer les images de la chambre obscure, et leur découverte a permis de pousser beaucoup plus loin l'étude des radiations chimiques.

En recevant le spectre solaire sur la plaque d'argent iodurée, on voit que l'action commence d'abord au voisinage de la raie G, dans le bleu et dans le violet, mais à mesure que l'action se propage du bleu aux deux extrémités, il y a destruction de la surface primitivement impressionnée, et si l'on veut obtenir toutes les parties de l'image, il faut présenter successivement les divers points de la plaque à l'action des rayons en lui imprimant un mouvement convenable.

Le spectre obtenu de cette manière présente toutes les raies du spectre lumineux; il existe donc des variations brusques dans la réfrangibilité des rayons chimiques, comme cela a lieu pour les rayons lumineux. Il a

été difficile de constater une semblable propriété pour le spectre calorifique. Il est difficile d'obtenir des thermomètres assez déliés, ou des piles thermo-électriques assez minces pour qu'on puisse les placer en entier dans l'espace d'une largeur très-faible que doivent présenter ces raies, si toutefois elles existent. Herschell cependant a cru reconnaître quelques effets semblables en exposant à l'action du spectre une feuille de papier imbibée d'alcool et noircie sur l'une de ses faces avec du noir de fumée. La feuille présentant une teinte plus foncée dans les parties sèches que dans les parties humides, la dessiccation a paru continue dans le rouge et dans le reste du spectre, bien que la largeur de la bande desséchée diminuât près de l'extrémité violette ; mais au delà du rouge, dans la partie chaude et non lumineuse, la dessiccation s'est montrée discontinue.

L'impression produite par le spectre solaire sur le papier sensible est beaucoup plus rapide quand ce papier a primitivement été soumis à l'action de la lumière diffuse des nuées. Pour faire ressortir la différence, M. Edmond Becquerel expose le papier impressionnable à la lumière des nuages après avoir placé par-dessus une feuille de carton dans laquelle sont pratiquées plusieurs fentes. On remarque, en soumettant ce papier à l'action du spectre solaire, que les parties primitivement exposées à la lumière diffuse s'impressionnent très-rapidement, quels que soient les rayons qui les frappent.

Cette action d'une première impression sur les propriétés de la couche sensible peut être encore rendue évidente par l'expérience suivante.

On prépare d'une part du papier au chlorure d'argent, puis on le soumet à l'action du spectre, sans l'avoir exposé à la lumière diffuse, l'action se montre sur toute la partie qui s'étend du bleu au violet, et au delà du violet jusqu'à une distance égale à environ la moitié du spectre lumineux, mais elle est nulle entre le bleu et le rouge.

On prépare d'une autre part du papier semblable et on le porte un instant à la lumière diffuse, avant de l'exposer à l'action du spectre solaire, on voit alors que l'impression s'étend à toute la partie comprise entre le bleu et le rouge qui, dans le premier cas, n'éprouvait aucune action au contact de la lumière.

Il résulte de ces expériences que la radiation du spectre ne produit aucun effet chimique dans la partie la moins réfrangible comprise entre le bleu et le rouge, tant que le chlorure d'argent n'a pas reçu une première impression de la lumière. Les radiations qui ne peuvent que *continuer* une action commencée ont été appelées par M. E. Becquerel *rayons chimiques continuateurs*; les rayons qui, au contraire, peuvent impressionner par eux-mêmes ou produire un effet *primitif*, et qui sont compris dans le spectre du bleu au violet et au delà, ou dans la lumière blanche, ont reçu le nom de *rayons chimiques excitateurs*.

Un phénomène semblable s'observe avec des verres colorés : si on expose pendant un moment une partie d'un papier sensible à la lumière diffuse, et qu'on le porte ensuite sous un verre rouge, la portion du papier qui a reçu la lumière diffuse noircit, l'autre n'est pas altérée.

Cette distinction n'est pas absolue ; en effet, quand on laisse pendant très-longtemps le papier préparé au chlorure d'argent sous l'action du spectre solaire, l'altération chimique s'étend peu à peu, mais très-lentement, jusqu'au rouge extrême.

Le spectre chimique obtenu par des substances impressionnables diffère suivant la nature de la matière employée. Le papier imprégné d'iodure d'argent donne deux maximum d'intensité d'action, l'un entre G et H, l'autre entre D et E ; cette disposition est présentée par tous les sels d'argent. Le bichromate de potasse donne un seul maximum qui correspond à la raie E.

Les rayons *continuateurs* pour les sels d'argent peuvent, en raison de ces positions différentes du maximum d'action, devenir *excitateurs* pour le bichromate de potasse ; l'action, pour ce dernier, commence aux limites du vert et du bleu, elle comprend même toute la bande verte jusqu'aux limites du jaune, elle s'étend aux rayons violets et au delà, mais à une distance moins grande que pour les sels d'argent. Il suit de là que les rayons chimiques de la bande verte sont *excitateurs* pour le bichromate de potasse, tandis qu'ils ne sont que *continuateurs* pour les sels d'argent. Dans la partie obscure du spectre, il arrive au contraire que l'action primitive des sels d'argent s'étend plus loin que celle du bichromate de potasse.

MM. Fizeau et Foucault ont observé une action destructive d'une partie du spectre solaire, quand il agit sur une plaque daguerrienne préparée convenablement. « Une lame d'argent ayant subi l'action de l'iode et du brôme est exposée à la lumière d'une lampe qui la rend capable de condenser les vapeurs de mercure en une teinte uniforme. Cette lame reçoit ensuite l'action d'un spectre pur. On observe alors qu'à partir de C, en allant jusqu'au violet, les rayons oranger, jaune, vert, bleu, indigo et violet, ont laissé une empreinte parfaitement visible en faisant acquérir à la plaque la propriété de condenser plus fortement les vapeurs de mercure ; mais de l'autre côté de la raie C, l'impression laissée par le rouge se dessine en une teinte foncée qui se termine en mourant ; cette partie a perdu, sous l'action des rayons avoisinant le rouge, la propriété de condenser les vapeurs de mercure et la surface de l'argent est mise à nu.

La lame daguerrienne, dans cette circonstance, est donc impressionnée de deux manières ; une partie du spectre augmente l'impression et offre une *action positive* ; l'autre diminue cette impression et se trouve douée d'une *action négative*. Si on représente ces diverses actions par une courbe, il faut la faire passer au-dessous de l'axe des abscisses pour figurer la partie négative. »

Dans la partie située au delà du rouge et qui n'impressionne pas la rétine, MM. Fizeau et Foucault ont trouvé des changements brusques d'intensité qu'ils ont désignés par les numéros 1, 2, 3, 4.

Un grand nombre de substances ont la propriété d'absorber les radiations calorifiques, on a dû rechercher s'il en est de même pour les radiations chimiques. M. Malaguti a examiné l'action des liquides incolores. Il employait à cet effet une espèce de chambre obscure présentant dans son ouverture une glace épaisse, percée d'un trou qu'on fermait avec deux lames de verre très-minces ; au fond de la caisse étaient placés des papiers sensibles reposant sur une feuille plus grande et colorée de l'une des nuances que devait prendre le papier sensible. Ces feuilles étaient du reste inclinées à 45° afin qu'on pût les observer à l'aide d'un trou pratiqué sur la partie supérieure de la caisse. Pour expérimenter, on faisait tomber un faisceau lumineux sur la glace, puis sur le papier sensible, et on comptait le temps que chaque papier impressionnable

mettait à se confondre par sa teinte avec la feuille colorée. La comparaison des temps employés à produire la même teinte donnait le pouvoir retardateur de chacun des rayons.

M. Malaguti est arrivé aux résultats suivants :

Air	4,0000	Essence de copahu	4,7044
Eau distillée.	0,7643	id. de téribenthine	1,7644
Acide chlorhydrique.	4,2344	id. de citron	2,8228
Acide azotique.	4,4872	id. de romarin	3,0172
Sulfure de carbone.	4,4964	id. de lavande	3,1405
Hydrure de benzoïle.	2,0034	Créozote.	3,9597

L'épaisseur des écrans liquides étaient de 9 millimètres, les plaques de verre avaient 4 millimètres; leur action n'a pas été défaillante de celle des liquides.

D'après ces résultats, l'eau paraît augmenter l'intensité des rayons chimiques.

M. E. Becquerel, en reprenant cette question, est parvenu à des résultats un peu différents de ceux de M. Malaguti.

Les liquides incolores ne paraissent pas changer l'intensité des rayons compris dans la partie lumineuse du spectre solaire.

D'après M. Becquerel, l'eau n'augmente pas l'intensité du rayon chimique; mais il est des liquides, tels que l'eau, l'alcool, l'acide sulfurique, qui laissent passer en totalité les radiations chimiques qui sont au delà du violet.

L'essence de citron, les acides azotique et chlorhydrique affaiblissent les radiations de la partie obscure du spectre; la créozote, l'essence d'amandes amères, la solution acide de sulfate de quinine arrêtent toutes les radiations chimiques de la partie obscure au delà du violet.

Les écrans transparents incolores arrêtent surtout les radiations de la partie obscure, c'est en définitive les dernières radiations les plus réfrangibles qui sont le plus absorbées, tant par les écrans liquides que par les écrans solides.

Quant aux écrans colorés, M. Becquerel émet en principe que toutes

les substances qui agissent par absorption sur les rayons lumineux agissent aussi par absorption sur les régions chimiques de même réfrangibilité.

RADIATION PHOSPHOROGÉNIQUE.

On a donné le nom de phosphorescence à la propriété qu'ont certains corps d'émettre dans l'obscurité une lueur semblable à celle que répand le phosphore au contact de l'air à la température ordinaire.

Parmi les causes nombreuses qui peuvent rendre les corps phosphorescents, je ne dois en examiner qu'une : la radiation solaire.

Les deux substances les plus connues, le phosphore de Canton, qui n'est qu'un sulfure de calcium préparé par la calcination d'un mélange de sulfate de chaux et d'os à moelle, et le phosphore de Bologne, qu'on prépare en chauffant du sulfate de baryte naturel mélangé de matières animales ; ce dernier est en réalité un sulfure de barium.

On obtient de même un phosphore très-impressionnable en chauffant des écailles d'huîtres pulvérisées avec du prosulfure de calcium ; les sels calcaires se réduisant sous l'influence de la chaleur et de la matière animale, il y a production de sulfure de calcium.

Certaines variétés de diamant peuvent aussi devenir phosphorescentes, même quand elles sont plongées dans l'eau.

M. Biot a cherché quel est le temps nécessaire pour produire la phosphorescence ; ce temps est variable suivant la manière dont la substance est préparée ; les plus sensibles acquièrent une lueur très-vive après une exposition pendant deux secondes et même moins aux rayons solaires. La nature des écrans placés entre les rayons lumineux et la substance phosphorescente exerce une assez grande influence ; ainsi le verre ordinaire ralentit l'action beaucoup plus que le quartz ; la lumière diffuse peut la produire, quoique faiblement ; l'étincelle électrique la détermine très-rapidement. M. V. Becquerel a observé qu'une élévation de température favorise la production du phénomène. Lorsqu'on élève la température d'une substance phosphorescente, elle devient momentanément lumineuse et perd bientôt la faculté de luire ; elle ne la reprend que par une nouvelle

exposition à la lumière solaire. Cette action ne doit pas nécessairement précéder l'élévation de la température ; la modification imprimée par la lumière à la substance phosphorescente subsiste pour ainsi dire à l'état latent pendant un temps plus ou moins long, et ne devient sensible que par une élévation de température.

Ces substances ne sont donc phosphorescentes qu'après avoir subi l'action de la lumière, et la lueur qu'elles répandent est d'autant plus vive, qu'on les chauffe plus rapidement. Dans ce cas, le phosphore émet toute la lumière qu'il aurait émise dans un temps plus long, si l'élévation de température eût été moins rapide.

La teinte de la lueur dépend du mode de préparation de la substance ; le plus habituellement elle est verdâtre, cependant elle peut présenter un assez grand nombre de nuances : bleuâtre, jaune, oranger, etc.

Seebeck a cherché quelle est la partie du spectre solaire qui jouit au plus haut degré de la propriété de développer la phosphorescence ; il a reconnu que la lumière rouge loin de rendre le phosphore lumineux, lui fait perdre la lueur qu'il a acquise au contact d'autres rayons. Après avoir exposé aux rayons solaires directs un papier couvert de phosphore de Bologne, il vit la lueur très-vive disparaître sous l'influence de la lumière rouge, concentrée à l'aide d'une lentille. D'après d'autres expériences, la lumière rouge paraît être tout à fait dépourvue de la propriété de développer la phosphorescence.

Daguerre a observé que le phosphore préparé par le sulfate de baryte et des os devient plus phosphorescent sous l'action d'un verre bleu qu'à la lumière blanche du soleil.

M. E. Becquerel a déterminé quelles sont les points du spectre qui agissent le plus énergiquement ; il a trouvé deux parties douées d'une action maximum ; 1^o entre la raie A et la raie H, au tiers de l'intervalle compté à partir de H ; 2^o un autre maximum au milieu de l'intervalle OP. Cette variation est représentée par une courbe dans la figure annexée page 33.

La partie phosphorogénique du spectre offre en outre d'autres variations brusques d'intensité qu'on doit évidemment prendre pour des *raies* analogues à celles des spectres lumineux et chimiques.

Phénomène de la fluorescence.

Nous venons de voir qu'il existe, au delà des limites visibles de la région violette du spectre solaire, un espace où arrivent des rayons plus réfrangibles que les rayons violets, mais dont le mouvement vibratoire n'est plus capable d'impressionner la rétine. L'existence de ces rayons invisibles a été mise hors de doute par les expériences qui ont établi que le spectre chimique se prolonge au delà du spectre lumineux.

Il y a quelques années à peine, *M. Stokes* a produit une preuve nouvelle à l'appui de ce qui précède, en découvrant le phénomène de la *fluorescence*. Ce phénomène consiste dans la propriété que possèdent certaines substances, notamment le verre d'urane et le papier imprégné d'une dissolution de sulfate acide de quinine, de répandre une lumière *fluorescente* lorsqu'on les porte dans la partie *ultrà-violette* du spectre solaire.

L'explication de ce phénomène est demeurée inconnue jusqu'à l'époque où *M. Eisenlohr* a publié une théorie fort ingénieuse destinée à en rendre raison. Voici les considérations très-simples sur lesquelles repose cette théorie.

Si l'on fait résonner simultanément deux sons peu différents, l'oreille perçoit aussitôt un *son résultant*, plus grave que les composants, c'est-à-dire dont la longueur d'onde est plus grande que les longueurs d'onde des sons composants. Ce son résultant est dû à la combinaison, à l'*interférence*, des mouvements vibratoires qui constituent les deux sons primitifs.

On conçoit pareillement que des rayons lumineux plus réfrangibles, c'est-à-dire de longueurs d'onde moindres que les rayons violets, puissent interférer et produire de la lumière dont la longueur d'onde serait plus grande, c'est-à-dire le degré de réfrangibilité moins grand que le leur; en d'autres termes, que de l'interférence de rayons ultrà-violets diversément réfrangibles, il résulte suivant leurs degrés de réfrangibilité de la lumière violette, bleue, jaune, rouge, blanche, etc., etc.

Le rôle des substances fluorescentes, dans la théorie de *M. Eisenlohr*, serait de déterminer les interférences des rayons ultrà-violets. Ce dernier

point est le seul qui présente quelque obscurité dans les explications d'ailleurs si nettes de l'auteur.

Au delà des limites du rouge, il existe aussi des rayons incapables d'affecter l'organe de la vue. Pourquoi ces rayons ne peuvent-ils produire la fluorescence? La raison en est facile à donner dans la théorie précédente. Le mouvement vibratoire résultant de l'interférence de rayons moins réfrangibles que le rouge, ne pourrait avoir qu'une longueur d'ondulation plus grande encore que celle des rayons rouges; il serait donc, *à fortiori*, insaisissable à notre œil.

Il ne sera pas sans intérêt d'ajouter ici que M. Eisenlohr a reconnu que la lumière de l'œuf électrique ainsi que la lumière de l'aurore boréale possèdent au plus haut point la propriété de développer le phénomène de la fluorescence. L'auteur considère ces lumières comme composées de rayons analogues aux rayons violets et ultrà-violets du spectre solaire.

Considérations générales.

L'identité des raies de la partie lumineuse et de la partie chimique du spectre, la propriété que présentent les diverses radiations de pouvoir être polarisées dans des conditions semblables à celles qui produisent la polarisation des rayons de lumière, sont autant de raisons de croire qu'elles pouvaient toutes n'être que des manifestations d'un même agent physique.

Pour établir l'analogie et les différences qu'elles présentent, il faut nécessairement se reporter aux théories qui, basées sur une idée particulière de la cause générale de la lumière, servent à établir des liens entre les faits principaux.

Dans la théorie des ondulations, la seule acceptée aujourd'hui, on admet qu'il existe un fluide éminemment élastique, l'éther, répandu dans l'espace et même entre les molécules des corps. La lumière est produite par les vibrations de l'éther comme le son est produit par les vibrations de l'air atmosphérique et des différents corps; mais les vibrations lumineuses, au lieu de s'exercer dans la direction du rayon comme dans les ondes sonores, s'effectuent dans un plan perpendiculaire à cette direction.

La sensation des diverses couleurs dépend de la longueur de l'ondulation. Pour le violet, cette longueur est de 406 millionièmes de millimètre; pour le rouge, 645 millionièmes; les couleurs intermédiaires ont des longueurs d'onde comprises entre ces deux extrêmes: celle du vert est par exemple de 532 millionièmes.

L'analogie nous porte à admettre, que la rétine impressionnable sous l'influence d'une ondulation d'une certaine longueur, cesse d'être affectée par les ondulations trop longues ou trop petites, comme l'oreille cesse de percevoir un son pour des vibrations des corps sonores trop rapides ou trop lentes.

Les ondulations de l'éther produisent le maximum de sensation lumineuse, lorsqu'elles sont dans le plus grand accord possible avec l'organisation des membranes nerveuses de l'œil.

C'est par la même raison que certaines ondulations sont incapables d'exciter des réactions chimiques, tandis que d'autres sont douées de cette propriété au suprême degré.

En considérant le tableau ci-joint, il devient manifeste que l'œil ne perçoit pas le tiers des vibrations présentées par le faisceau solaire après sa réfraction dans un prisme qui serait formé d'une substance parfaitement transparente pour toutes les radiations.

Le spectre calorifique atteint son maximum à une distance notable au delà du rouge, et s'étend suivant cette direction dans un espace de même largeur et à peu près de même longueur que le spectre lumineux. Or il est naturel d'admettre que dans la direction AU la longueur de l'ondulation va en augmentant, et que si à partir du point A la rétine ne perçoit plus rien, cela tient à ce que son organisation ne lui permet pas d'être excitée par des ondulations dont la longueur dépasse celle du rouge.

De même la longueur d'onde va en diminuant de I en P au delà du violet; la rétine cesse encore d'être affectée par des ondulations trop courtes, mais le chlorure d'argent et les substances phosphorogéniques capables d'être modifiées par des vibrations éthérées moins longues que celle du violet, nous démontrent l'existence de ces mêmes vibrations dans une région du spectre où nos sens ne sont plus impressionnés.

Ainsi, en résumé, entre les limites du rouge extrême et du violet ex-

trême, il existe tout à la fois des rayons capables d'impressionner la rétine et de produire des effets calorifiques, chimiques et phosphorogéniques; au delà du rouge on ne reconnaît plus que des radiations calorifiques, et au delà du violet des radiations chimiques et phosphorogéniques; la rétine cesse d'être impressionnée dans ces deux dernières régions.

Explication de la figure ci-contre.

La partie visible du spectre est comprise de A en I; elle offre les sept teintes désignées par les initiales R, O, J, v, B, I et V.

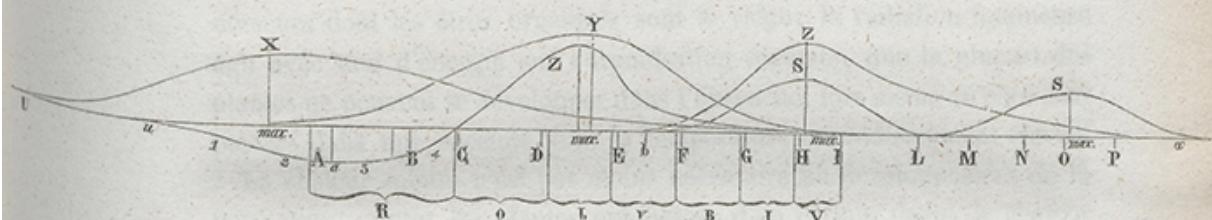
La courbe UXH représente le spectre calorifique normal, obtenu à l'aide d'un prisme de sel gemme.

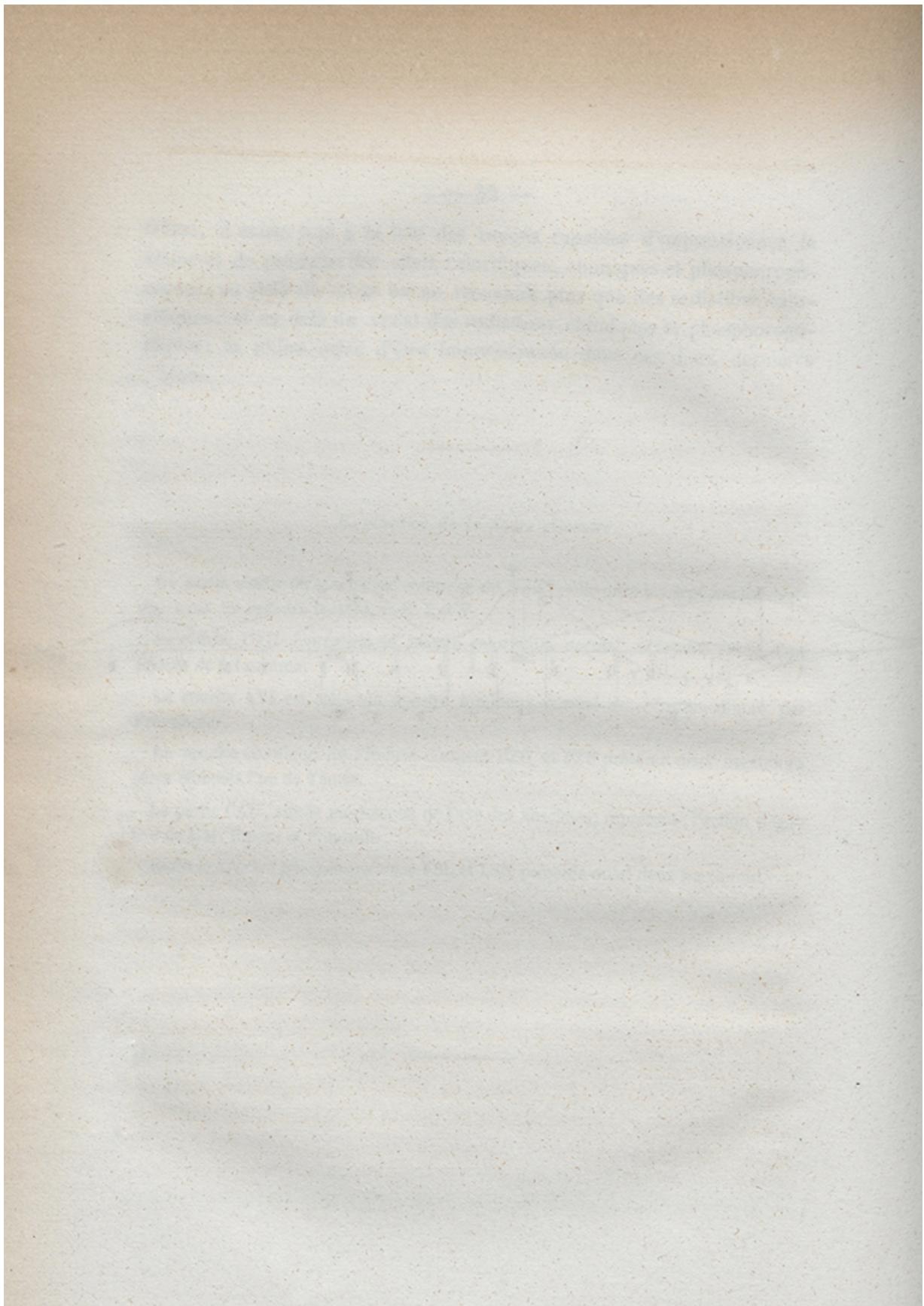
La courbe AVI est celle du spectre lumineux normal *des réseaux*, donné par Fraunhofer.

Le spectre chimique de l'iodure d'argent BZG et FZP présente deux maximum assez éloignés l'un de l'autre.

La partie CAU, située au-dessous de l'axe des abscisses, représente l'action négative de MM. Eizeau et Foucault.

Enfin le spectre *phosphorogénique* FSL et LSN présente aussi deux maximum.





INFLUENCE DE LA RADIATION SOLAIRE SUR LES ÉTRES VIVANTS.

Les radiations solaires contribuent puissamment à modifier les phénomènes dont les êtres organisés sont le siège; la radiation lumineuse agit avec tant d'énergie sur l'organisation végétale, que la plupart des plantes ne peuvent se développer dans l'obscurité, lors même qu'elles sont placées dans une enceinte dont la température est suffisamment élevée.

La chaleur solaire n'est pas moins nécessaire au développement de la végétation, toutes les plantes ont besoin d'un certain degré de chaleur pour fleurir, pour fructifier et parvenir à maturité; elles ne peuvent en un mot atteindre leur développement complet sans l'influence combinée des diverses radiations.

Les fonctions physiologiques des animaux ne peuvent non plus s'accomplir sans l'intervention de la lumière; cependant elle est en général moins indispensable qu'aux fonctions des végétaux. La radiation calorifique paraît au contraire avoir sur ces derniers une influence prépondérante. L'animal dégage de la chaleur par les combustions lentes qui s'opèrent dans ses tissus; malgré cela il semble être moins apte que le végétal à supporter un abaissement de température prolongé.

Je distinguerai, autant qu'il me sera possible, l'action de chacune des radiations sur les végétaux, sur les animaux et sur l'homme.

L'influence séparée des radiations lumineuse et calorifique étant mieux connue en ce qui concerne les végétaux, je commencerai de préférence par ces derniers.

INFLUENCE DE LA RADIATION SOLAIRE SUR LES VÉGÉTAUX.

L'action des rayons lumineux, chimiques et calorifiques modifie surtout les fonctions de respiration, d'absorption et d'exhalation des plantes et par suite leur nutrition; les mêmes rayons contribuent à diriger les tiges et à imprimer aux diverses parties des végétaux des mouvements tantôt lents et insensibles, tantôt plus ou moins rapides et périodiques.

Ce chapitre sera divisé en quatre parties comprenant l'influence de la radiation solaire.

- 1° Sur la respiration des tiges.
- 2° Sur les fonctions d'absorption et d'exhalation.
- 3° Sur la direction des tiges.
- 4° Sur les mouvements des feuilles.

1° Influence de la radiation solaire sur la respiration des végétaux.

Les premiers travaux sur les fonctions des feuilles remontent à Ch. Bonnet. Cet observateur vit se dégager des bulles de gaz de feuilles vertes qu'il avait placées dans de l'eau de source et au soleil. Pour reconnaître si ce gaz ne provenait pas de l'air dissous dans le liquide, il mit des feuilles dans de l'eau privée d'air par l'ébullition; le dégagement gazeux ne s'étant point manifesté, il en conclut que les bulles de gaz se séparaient du liquide par un phénomène purement physique.

Trente ans plus tard Priestley analysa le fluide élastique qui se dégage dans cette circonstance et reconnut qu'il était formé d'oxygène presque pur.

Ces essais répétés et modifiés par un grand nombre de physiologistes ont démontré que les parties vertes des plantes ou celles qui peuvent verdir sous l'influence de la lumière, sont les seules qui donnent lieu à un dégagement d'oxygène. Cependant les feuilles rouges de certaines plantes telles que celles de l'arroche ou de quelques algues marines donnent également lieu à un dégagement gazeux semblable. Cette action

paraît être indépendante de la surface de la feuille, de sa cuticule et des stomates, elle s'opère dans l'intérieur même et dans le parenchyme des parties vertes ; elle est proportionnelle à l'étendue de la surface et non au volume et ne subsiste que pendant la vie de la feuille ; celles qui ont été desséchées n'ont plus aucune action.

L'oxygène cesse de se dégager quand l'eau ne contient que de l'air (oxygène et azote) en dissolution et augmente quand on fait dissoudre artificiellement de l'acide carbonique. Cette dernière observation est due à Senebier. Ayant mis dans de l'eau de source une branche de framboisier qui ne donnait point de gaz dans l'eau distillée, Senebier obtint un volume d'oxygène très-appréciable, et dans l'eau chargée d'acide carbonique, il recueillit un volume seize fois plus grand de ce gaz presque pur ; de plus il reconnut que ce dégagement ne se faisait que sous l'action des rayons solaires directs.

De Candolle a donné à cette expérience une forme simple et élégante dans laquelle la décomposition de l'acide carbonique de la plante devient manifeste à l'œil de l'observateur. Deux éprouvettes de même capacité et de même forme sont renversées sur un vase plein d'eau ; l'une est remplie de ce liquide et l'autre d'acide carbonique ; dans l'éprouvette pleine d'eau on introduit une menthe aquatique, puis on verse sur l'eau du vase une couche d'huile qui empêche le contact de l'air extérieur. L'appareil étant exposé à l'action des rayons solaires, on voit au bout de quelques heures l'éprouvette pleine d'eau et contenant la menthe, se remplir de gaz ; dans l'autre, au contraire, on voit l'acide carbonique diminuer et l'eau monter pour prendre sa place. On finit par n'avoir que de l'oxygène dans la première, tandis que l'acide carbonique a disparu dans la seconde.

Deux théories ont été émises pour interpréter ces effets produits sous l'influence de la radiation solaire. Fourcroy admettait que le végétal, après avoir absorbé de l'eau la décomposait, fixait l'hydrogène et rejetait l'oxygène correspondant.

Senebier a proposé une autre théorie appuyée sur les faits qui viennent d'être énumérés et sur un grand nombre d'autres semblables ; elle consiste à admettre que le dégagement d'oxygène est dû à la décomposition du gaz acide carbonique dissous dans l'eau et entraîné dans les feuilles ou

absorbé par la feuille elle-même au sein de l'atmosphère, le carbone réduit restant fixé dans les tissus du végétal.

D'après les idées de Senebier, le carbone, absorbé par les plantes, proviendrait en grande partie, sinon en totalité, de la décomposition de l'acide carbonique sous l'influence de la radiation solaire ; son opinion est basée sur cette observation que les parties vertes, où la réduction s'opère, contiennent beaucoup plus de carbone que les autres et que les plantes qui se développent hors l'action de la lumière solaire s'étiolent et contiennent au contraire beaucoup moins de carbone ; elles paraissent même n'en pas contenir plus que la graine ou le tubercule qui leur a donné naissance.

Dans ces dernières années, M. Boussingault a démontré par l'expérience directe la décomposition de l'acide carbonique de l'air et la fixation du carbone. En faisant germer des pois dans du sable pur arrosé d'eau distillée, et en alimentant les jeunes pousses seulement avec de l'air, M. Boussingault a pu constater que le carbone contenu dans la plante augmente sans cesse, pourvu que l'air soit suffisamment renouvelé : d'où il conclut que le carbone ne peut évidemment provenir que de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère.

L'analyse chimique montre que cette plante, qui n'a absorbé que de l'acide carbonique et de l'eau, contient dans ses tissus de l'hydrogène en excès ; on peut donc admettre avec M. Dumas « que les plantes, dans » leur vie normale, décomposent l'acide carbonique pour en fixer le car- » bone et en dégager l'oxygène, qu'elles décomposent l'eau pour s'em- » parer de son hydrogène et pour en dégager aussi l'oxygène... et que » si le règne animal constitue un immense appareil de combustion, le » règne végétal à son tour constitue un immense appareil de réduction » où l'acide carbonique réduit laisse son carbone, où l'eau réduite laisse » son hydrogène.... »

Si pendant le jour et sous l'influence des rayons solaires, les plantes décomposent l'acide carbonique, fixent le carbone et rejettent l'oxygène, les phénomènes qui ont lieu dans l'obscurité sont complètement différents.

Ingenhouz a découvert que, pendant la nuit, les feuilles consument

une partie de leur carbone et exhalent de l'acide carbonique ; mais que la quantité de carbone fixé pendant le jour est supérieure à celle qui est exhalée à l'état d'acide carbonique pendant la nuit, en sorte que le poids de cet élément fixé par le végétal va toujours en augmentant.

Les parties où se font l'absorption et la réduction de l'acide carbonique sont celles où se développe la matière verte des végétaux, elles en contiennent d'autant plus que l'absorption est plus active et que l'intensité de la lumière est plus grande. Cette matière verte, la chlorophylle, ne se produit en général qu'en la présence de la lumière solaire directe ; la lumière diffuse en détermine plus lentement la formation ; enfin la lumière des lampes paraît agir faiblement ; la lumière réfléchie par la lune s'est montrée sans influence sensible.

On a cherché à reconnaître quels sont ceux des rayons du spectre solaire qui agissent le plus énergiquement. On a employé à cet effet, non point les rayons même du spectre solaire, mais la lumière transmise par des verres de diverses couleurs. Tessier a le premier essayé l'action des verres colorés sur la végétation. Dans ses expériences les feuilles se sont chargées de matière verte dans la lumière bleue et dans la lumière verte ; elles sont restées pâles et blanchâtres dans la lumière jaune. Ces expériences ont été reprises plus tard par Senebier, qui admitt qu'après la lumière blanche la lumière violette agit plus énergiquement que tout autre rayon coloré pour produire la teinte verte des végétaux ; il croit en outre que la germination s'effectue plus activement dans les rayons violets que dans les rayons rouges.

Carradori a publié en 1844 un travail qui confirme la plupart des résultats obtenus par Senebier.

D'après les nombreuses expériences de Zantedeschi, il résulte que : la végétation languit sous l'influence de la lumière colorée, comme l'avaient reconnu Senebier et Carradori ; que la lumière rouge a eu plus d'action sur la germination de l'*Iberis amara* que la lumière violette ; le contraire s'est présenté pour celle de l'*Echinocactus ottomi*, l'action a été décroissante du violet au rouge et au jaune ; que la lumière violette n'est pas toujours celle qui influe le plus sur le développement de la matière verte

des feuilles; l'*Oxalis multiflora* s'est montré influencée plus énergiquement par d'autres teintes.

La faculté de donner de la vigueur aux végétaux, attribuée par Senebier aux rayons violets comparativement aux rayons rouges et jaunes, n'est pas confirmée par les expériences de Zantedeschi. Les rayons verts activent moins que les rayons rouges la végétation de l'*Impatiens balsaminea*, de l'*Ocymum viride* et du *Myrthus moschata*. Le verre bleu de ciel laisse passer une lumière dont l'action fortifiante est très-prononcée sur l'*Oxalis multiflora*.

D'après Surcow, les couleurs violettes, bleues, vertes et rouges influent puissamment sur le développement des parties vertes des végétaux, tandis que le jaune ne produit pas plus d'effet que l'obscurité.

MM. Cloëz et Gratiolet ont fait des expériences semblables sur les plantes aquatiques suivantes : le *Potamogiton perfoliatum*, le *Potamogiton crispum*, le *Ceratophyllum submersum*, le *Myriophyllum spicatum* et le *Najas maxima*. Il résulte de leur travail que les parties vertes et submergées des plantes n'opèrent la décomposition de l'acide carbonique que sous l'influence de la radiation lumineuse; que la lumière, modifiée par son passage à travers les verres colorés, présente une intensité décroissante dans l'ordre suivant :

Verre incolore dépoli, verre jaune, verre incolore transparent, verre rouge, verre vert et verre bleu.

D'après ce qui précède, on voit que tous les essais faits dans le but de déterminer quelle est la portion du spectre la plus efficace dans l'acte de la respiration végétale, n'ont jusqu'à présent conduit à aucun résultat complètement satisfaisant. L'action des différents rayons du spectre paraît même varier suivant la fonction qu'ils modifient et suivant l'espèce à laquelle appartient le végétal. Le vague qui résulte de toutes ces expériences peut cependant tenir au mode d'expérimentation; les verres colorés qui ont été employés ne donnent presque jamais de lumière simple, excepté le verre rouge coloré par de l'oxydule de cuivre; tous les autres laissent passer un mélange de plusieurs couleurs. Il faudrait, pour opérer avec plus de rigueur, employer la lumière du spectre lui-même, mais la difficulté d'avoir un spectre assez étalé et assez large, rend très-difficile la

disposition des expériences. On peut se demander si la partie invisible du spectre chimique possède quelque action sur les végétaux. Faute d'expériences directes, on a sur ce point emprunté quelques considérations à la photographie. Les plaques daguerriennes iodurées ne sont que très-faiblement impressionnées par la teinte verte des végétaux, les feuilles ne produisent qu'une image noirâtre dans laquelle la couche sensible a été très-peu modifiée; on a conclu de ce fait que les rayons chimiques pénétrant dans l'intérieur des feuilles où ils sont absorbés pour contribuer sans doute à la réduction de l'acide carbonique, ne sont point diffusés et par cela même ne sont pas réfléchis sur la plaque sensible. Cette opinion perd un peu de sa valeur, depuis qu'à l'aide du brôme on est parvenu à obtenir des impressions d'une netteté satisfaisante. Quoi qu'il en soit, l'analogie nous porte à admettre que des rayons qui agissent si énergiquement sur les substances impressionnables en modifiant leur constitution chimique, interviennent efficacement dans la séparation des éléments de l'acide carbonique déterminée sous l'influence de la radiation solaire dont ils représentent un des éléments les plus importants.

Les parties végétales dites *colorées* telles que les racines, les diverses parties de la fleur, les fruits, etc., agissent sur l'atmosphère tout autrement que les parties vertes; elles attirent l'oxygène, le combinent à leur carbone et le rejettent à l'état d'acide carbonique; cet effet est activé par la radiation solaire; cependant il se continue dans l'obscurité, quoique avec un peu moins d'énergie; il est donc à peu près indépendant de la radiation lumineuse.

Les radiations lumineuses agissant puissamment sur la respiration des végétaux, on se demande naturellement quel est le rôle comparatif des radiations calorifiques.

Senebier avait remarqué que l'action combinée de la lumière et de la chaleur solaire porte à son maximum le dégagement gazeux opéré par les feuilles, mais que la chaleur agissant sans le secours de la lumière, dégage très-peu d'oxygène. D'après Spallanzani, le dégagement d'oxygène pendant le jour, et d'acide carbonique pendant la nuit, ne se font plus à une température inférieure à 5°. Les rayons calorifiques paraissent donc simplement favoriser l'action des rayons lumineux. D'un autre côté les

plantes aquatiques semblent démontrer que l'influence de la chaleur sur la décomposition de l'acide carbonique est très-faible; l'épaisseur de la couche liquide qui les recouvre affaiblit considérablement la radiation calorifique et laisse passer presque intacts les rayons lumineux et chimiques. Or, sous l'influence des rayons solaires, on voit les feuilles submergées donner lieu à un dégagement gazeux très-actif, tandis que, à température égale et en l'absence de la partie lumineuse et chimique de ces mêmes rayons, elles ne dégagent presque rien.

2^e Influence des rayons solaires sur l'exhalation et l'absorption.

La lumière augmente la force de succion des racines et détermine l'exhalation aqueuse des feuilles et de toute la surface du végétal; c'est ce que démontrent les expériences suivantes :

Si on choisit trois plantes de même espèce, aussi semblables que possibles, et qu'après les avoir placées dans trois vases pleins d'eau, on les expose, l'une dans l'obscurité, l'autre à la lumière diffuse, la troisième aux rayons solaires directs, on voit que la première absorbe un peu d'eau, la seconde en puise davantage, et la troisième beaucoup plus encore. De même, si on pèse trois plantes semblables et qu'après les avoir empêché de rien absorber, on les pèse de nouveau dans ces trois conditions différentes, on trouve que celle qui est restée dans l'obscurité n'a presque rien perdu, celle qui a été exposée à la lumière diffuse a perdu davantage, enfin, celle qui a reçu l'action directe de la radiation, a perdu une très-grande quantité d'eau.

Il suit de là que les plantes doivent augmenter de poids pendant la nuit en continuant à absorber et en cessant de perdre par transpiration; mais l'eau qu'elles absorbent ainsi n'est pas fixée dans leurs tissus, elles se remplissent outre mesure d'humidité et deviennent hydropiques.

Exposées à une lumière trop faible, les plantes éprouvent des effets semblables, et en absorbant trop d'eau elles présentent des organes plus nous et moins résistants que celles qui sont exposées au grand soleil, les cellules et les fibres s'allongent sans prendre de consistance et comme l'accroissement en longueur n'est pas toujours proportionnel à l'éner-

gie du mouvement de nutrition, les végétaux qui vivent dans des lieux ombragés sont souvent très-grêles et très-allongés.

Une lumière trop forte, en favorisant l'exhalation, a, au contraire, pour effet de resserrer les tissus, de leur donner de la dureté et de la solidité. La différence est frappante chez les individus de même espèce, cultivés dans des climats différents ou dans des altitudes différentes. Tels sont les végétaux qui vivent dans les plaines, comparés à ceux qui vivent dans les montagnes; une épaisseur moindre de la couche atmosphérique laissant arriver la lumière sans déperdition sensible, donne aux végétaux des régions élevées les qualités de ceux qui, vivant dans des contrées plus voisines de l'équateur, sont exposés à une lumière très-vive.

La chaleur agit avec non moins d'énergie sur les fonctions d'absorption et d'exhalation.

En général, une augmentation de température énerve les propriétés vitales des végétaux; elle active la succion et l'évaporation, accélère le développement en favorisant la germination, la fleuraison, la fécondation et la maturité des graines. Un abaissement de température est suivi d'effets contraires; mais le degré de chaleur nécessaire varie avec la plante et paraît être à peu près fixe pour chacune d'elles. On peut étendre les limites entre lesquelles les végétaux peuvent prospérer; mais ce n'est, dans tous les cas, que d'une quantité très-faible.

Une élévation graduelle de la température active l'évaporation et la succion des liquides, la fermentation des matières contenues dans le terreau et les engrais rendent les sucs absorbés plus nutritifs. Mais si l'élévation de température devient trop brusque ou trop considérable, la plante tend à se dessécher ou à pourrir, quand l'eau qu'elle contient ne s'évapore pas. Une température trop basse congèle les liquides contenus dans le végétal, ces corps se dilatent en se solidifiant, entraînent la rupture et la destruction des cellules, et par suite la mort du végétal.

La chaleur possédée par les végétaux paraît provenir tant du milieu dans lequel ils vivent, air et sol, que de la radiation solaire. A la rigueur, cette dernière source est, pour ainsi dire, la seule; l'air et les couches superficielles de la terre devant leurs variations de température aux rayons émanés du soleil.

La température des végétaux est à peu près celle de la couche du sol dans laquelle sont plongées leurs racines. De nombreuses expériences démontrent que la séve circule dans les arbres qui résistent à des froids rigoureux, même dans les abaissements de température les plus considérables ; les liquides puisés par les racines étant à la température de la couche invariable, qui est la température moyenne du lieu, toutes les parties sont échauffées par leur contact, en sorte que le végétal doit sa chaleur à un courant de liquide chaud déterminé par l'absorption.

Il est donc infiniment probable que les végétaux ne doivent pas leur chaleur aux actions chimiques dont ils sont le siège ; à ce point de vue ils sont essentiellement des appareils de réduction ; or la plupart des réductions sont accompagnées d'une absorption de chaleur considérable, ces sortes d'actions doivent donc avoir pour effet immédiat un abaissement de température. Il s'opère, il est vrai, dans les tissus végétaux des actions chimiques qui peuvent donner lieu à un dégagement de chaleur ; mais si on considère qu'ils résistent aux refroidissements les plus considérables quand le mouvement de nutrition est à son minimum, on sera conduit à admettre qu'ils ne développent pas eux-mêmes la chaleur qu'ils possèdent, et qu'ils la reçoivent de la radiation solaire.

D'ailleurs, tout est disposé chez eux pour qu'ils puissent résister aux abaissements de température, leur substance conduit mal la chaleur et leurs fibres forment des couches concentriques qui les protègent contre les causes de refroidissement ; ils sont organisés, en un mot, pour qu'ils puissent conserver la chaleur qui leur est communiquée.

3° *Influence des rayons solaires sur la direction des tiges.*

Les intéressantes expériences de Knight, dont la première idée remonte à J. Hunter, ont démontré que les tiges doivent à l'action de la pesanteur leur tendance à se diriger verticalement. Des graines placées dans des éponges humides, sur la circonférence d'une roue faisant soixante tours à la minute, ont germé en dirigeant toutes leurs radicules vers le centre et leurs gemmules en sens opposé. La force centrifuge remplaçant l'action de la pesanteur, il devenait manifeste que les deux parties essentielles du

végétal, séparées par le collet, étaient douées, sous l'action de la pesanteur, de deux tendances contraires, la tige cherchant à s'élever verticalement et la racine à descendre.

La pesanteur n'est pas la seule force qui préside à la direction des tiges. Tout le monde a observé que les plantes des serres dirigent leurs branches vers les croisées, que les arbres qui reçoivent l'ombrage d'un mur tendent à s'en écarter, et qu'en général les végétaux semblent chercher instinctivement la lumière. La cause de ce phénomène a paru longtemps difficile à découvrir; De Candolle en a donné une explication satisfaisante, basée sur l'influence des rayons solaires sur la nutrition : la plante décompose plus d'acide carbonique et fixe plus de carbone dans ses tissus du côté le plus exposé à la lumière, tandis que le contraire a lieu du côté le moins éclairé; de plus, du côté éclairé le dépôt des matières terreuses qui retardent le mouvement nutritif se faisant plus rapidement, les fibres doivent, par une double raison, s'allonger plus vite du côté obscur. La branche doit donc se courber vers la lumière par une sorte de dilatation inégale, et la courbure sera d'autant plus prononcée que la différence dans le mouvement nutritif sera plus grand.

De Candolle donne un assez grand nombre de faits à l'appui de son explication : cette direction n'existe pas dans les végétaux qui ne sont pas verts, tels que les champignons, les cuscutes, les orobanches; et parmi ceux où elle est sensible, elle ne l'est que dans les jeunes branches encore susceptibles d'étoilement, et cesse de l'être dans les branches âgées.

Il existe cependant des exceptions à cette tendance des parties vertes vers la lumière, le gui croît indifféremment dans toutes les directions. Les sommités des conifères se penchent du côté du nord, mais ces faits sont assez rares.

M. Payer, dans les nombreuses expériences qu'il a faites sur ce sujet, a cherché à déterminer l'influence de l'intensité et de la nature du rayon lumineux sur la direction des tiges.

En faisant germer du cresson alénois dans un appartement éclairé par une seule fenêtre, M. Payer a observé que la tige au lieu de s'élever verticalement, comme cela arrive à ciel découvert, s'incline vers la fenêtre

en restant rectiligne et en faisant avec la verticale un angle plus ou moins grand.

« Si la tige a déjà acquis un certain développement quand on soumet la plante à cette expérience, elle se courbe pour s'incliner vers la lumière, et la partie inférieure restant verticale forme, avec la partie supérieure, un angle obtus, ouvert du côté de l'endroit éclairé.

» Pour que cet effet se produise il n'est pas nécessaire, comme l'avaient dit De Candolle et Dutrochet, que le point de courbure reçoive des rayons lumineux ».

M. Payer établit comme règle générale que *la tendance des tiges vers la lumière est d'autant plus grande que cette lumière est moins intense ou qu'elle arrive de plus bas.*

Le milieu dans lequel est plongée la plante n'empêche pas cette action, elle se produit chez les plantes aquatiques comme chez les plantes aériennes.

Si l'appartement dans lequel on fait l'expérience est éclairé par deux fenêtres, la tige se dirige vers la plus éclairée; si elles sont également lumineuses et opposées, les actions se détruisent; enfin quand les deux fenêtres et la plante sont situées aux trois sommets d'un triangle, la tige se dirige dans la bissectrice de triangle dont elle occupe ce sommet.

Il résulte des expériences de M. Payer que la lumière des verres rouges, orangés, jaunes, verts, est sans influence sur la direction des tiges, tandis que les rayons bleus et violets agissent énergiquement.

L'interposition de deux écrans, l'un d'eau et l'autre d'essence de térébenthine n'ayant exercé aucune influence, il paraîtrait résulter de là que la direction des tiges n'est pas due à la radiation chimique.

Le rayon bleu semble agir plus énergiquement que le violet.

Dutrochet a fait un grand nombre d'essais analogues dont plusieurs sont venus confirmer ceux de M. Payer.

La lumière rouge transmise par un verre coloré avec l'oxydule de cuivre n'a produit aucune influence sur la direction de la tigelle du *lepidium sativum*.

Au contraire les tigelles de l'*alsine media* se sont toujours infléchies vers

la lumière rouge, même après qu'on a eu la précaution de les retourner plusieurs fois.

Ayant soupçonné que le faible diamètre des tigelles de l'alsine media était la cause de la différence observée dans ses expériences, Dutrochet soumit à la même épreuve des plantes dont les graines sont fort petites, et qui en général ont des tiges d'un faible diamètre.

Il observa qu'il suffit d'une différence de 1/10 de mill. en moins dans le diamètre des tigelles des plantes appartenant à une même espèce pour qu'elles s'infléchissent vers la lumière.

En ce qui concerne l'influence des rayons colorés, Dutrochet pense que si les deux teintes extrêmes du spectre présentent la propriété de produire l'infexion des tigelles, les teintes intermédiaires possèdent la même propriété et il attribue le plus ou moins d'énergie des divers rayons à l'intensité de la lumière de la région qu'ils occupent dans le spectre. La lumière colorée, d'après le même auteur, produit toujours un allongement des tiges plus considérable que la lumière blanche, et les plantes paraissent s'étioler dans ces conditions particulières.

Il résulte de tous ces faits que la lumière blanche a une influence évidente sur la direction des tiges et qu'elle semble en général les attirer à elle, mais que l'action des divers rayons du spectre est variable ici comme dans les phénomènes de la respiration; dans tous les cas, ils agissent avec moins d'énergie que les rayons solaires directs.

Quant à ce qui concerne l'influence de la radiation calorifique sur la direction des tiges, on peut appliquer ici ce qui a été dit de l'action générale de la chaleur sur la nutrition des végétaux.

4° *Influence de la radiation solaire sur les mouvements des feuilles.*

Les feuilles d'un très-grand nombre de végétaux présentent des mouvements périodiques au lever et au coucher du soleil. C'est ce phénomène que Linné a désigné sous le nom de *sommeil des feuilles*. C'est ainsi que les feuilles opposées des *arroches* se relèvent de manière à s'appliquer l'une contre l'autre par leurs parties supérieures; les feuilles de l'*impatiens noli me tangere* se rabattent sur leurs fleurs pendant la nuit pour les pro-

téger; de même les folioles du mimosa se plient les unes sur les autres par des mouvements assez rapides.

Bonnet avait attribué ces mouvements à l'action de la vapeur d'eau contenue dans l'air, cette opinion a été démentie par la persistance de ces mêmes mouvements dans une atmosphère dont le degré d'humidité était invariable. Dans un mémoire sur l'influence de la lumière artificielle sur les plantes, De Candolle a démontré que ces phénomènes reconnaissent la lumière pour cause. Des sensitives ont été exposées à la radiation des lampes dans une enceinte à température à peu près constante; les plantes étaient éclairées pendant la nuit et plongées dans l'obscurité pendant le jour; les mouvements ont d'abord paru irréguliers, puis bientôt les sensitives, se soumettant à ce régime anormal, ont ouvert leurs feuilles pendant la nuit et les ont fermées pendant le jour, quand l'obscurité commençait pour elles. Quand la clarté ou l'obscurité devenaient continues, les mouvements se faisaient encore, mais très-irrégulièrement. D'après Dutrochet cependant, les plantes perdent dans ce cas la faculté de mouvoir leurs feuilles pour les reprendre à la lumière. Des effets analogues ont été obtenus avec d'autres plantes telles que l'*Oxalis incarnata* et *stricta*, la *Balsamine*, etc.; toutes se sont mises plus ou moins rapidement à ouvrir leurs feuilles sous l'influence de la lumière artificielle.

Il résulte de ces recherches de De Candolle que les mouvements des feuilles ne sont pas déterminés par les variations de température ni d'humidité, mais qu'ils sont entièrement subordonnés à l'action de la lumière.

On a attribué les mouvements des plantes aquatiques qui viennent pendant le jour à la surface de l'eau, à l'action des rayons solaires, mais on a reconnu plus tard que, dans la plupart des cas, ils sont consécutifs au dégagement gazeux effectué pendant le jour à la surface de la feuille, qui, devenant plus légère, s'élève, pour redescendre pendant l'obscurité lorsqu'elle a abandonné ses produits gazeux.

Les mouvements des fleurs sont moins réguliers en général que ceux des feuilles, et paraissent être sous la dépendance moins immédiate de la lumière.

INFLUENCE DE LA RADIATION SOLAIRE SUR LES ANIMAUX.

Les observations les plus vulgaires montrent de la manière la plus évidente et la plus incontestable, l'influence des radiations solaires sur l'organisation animale. Il suffit de considérer la proportion suivant laquelle le nombre des animaux croît du pôle à l'équateur, pour rester convaincu que les lois de la distribution géographique de ces êtres dépend directement du mode de répartition des rayons solaires à la surface du globe. Mais s'il est facile de constater l'influence sur les animaux des rayons solaires réunis, l'analyse des effets dus à chacun d'eux devient difficile sur une organisation plus complexe et possédant en elle-même plus d'éléments d'action et de résistance que l'organisation végétale. Nous n'avons sur ce point des sciences physiologiques qu'un petit nombre de données positives et certaines ; je vais essayer de faire ici un résumé des observations les plus importantes.

La marche à suivre sera toute simple, les animaux inférieurs, qui se rapprochent le plus des végétaux, doivent naturellement venir en première ligne, puis je passerai successivement, aux vertébrés ovipares, aux mammifères et à l'homme en dernier lieu.

Le dernier chapitre comprendra deux parties seulement.

1^o *Influence de la radiation lumineuse sur les animaux.*

Il se développe dans les eaux stagnantes, sous l'influence de la lumière, un grand nombre d'êtres microscopiques occupant les degrés les plus inférieurs de l'échelle zoologique ; les uns appartenant au règne animal, les autres au règne végétal. M. Morren a découvert que ces êtres ont la singulière propriété d'augmenter d'une manière considérable, à certains moments, la proportion d'oxygène contenue dans les eaux stagnantes. La composition normale de l'air dissous dans l'eau étant 32 pour 100 d'oxygène et 68 d'azote ; au contact de ces petits êtres, l'oxygène s'élève jusqu'à 56 et même 60 pour 100. Les eaux stagnantes, qui présentent cette propriété, contiennent une matière verdâtre, dans laquelle M. Morren

a reconnu la présence de plusieurs *conferves* et de quelques rares *oscillatoires*. A l'aide du microscope, il a pu voir un très-grand nombre d'animalcules de couleur verte, principalement des *enchelis* et des *monas*. Les *enchélides* apparaissent très-rapidement dans les premiers beaux jours de mars, et continuent à se développer pendant plusieurs mois consécutivement; la durée de leur existence est du reste très-variable. On les trouve très-abondamment quand le ciel est sans nuage, l'air calme et la température douce; elles sont alors très-vives et se livrent à des mouvements gyratoires très-rapides. Quand, au contraire, le ciel est couvert, que la pluie tombe et que l'air est fortement agité, les *enchélides* se retirent au fond des eaux pour éviter les variations brusques de température, et à ce moment la proportion d'oxygène dans l'eau décroît avec rapidité. M. Morren s'est assuré que ces animalcules verts se comportent sous l'influence de la lumière comme des végétaux; ils décomposent l'acide carbonique, absorbent le carbone et rejettent l'oxygène; cependant leur existence animale n'est contestée par personne. Ils agissent sur l'acide carbonique avec une très-grande énergie, sans doute en raison de leur division extrême, de leur nombre prodigieux et de la faculté qu'ils ont de se présenter spontanément à l'action des rayons solaires. L'oxygène qu'ils dégagent se dissout dans l'eau et s'échappe ensuite dans l'atmosphère; il atteint son maximum dans les beaux jours d'été, lorsque la température est assez élevée; il diminue au contraire quand le ciel est couvert ou quand il pleut, et que la température s'abaisse. Le matin, la proportion d'oxygène est à son minimum; elle augmente pendant la journée et présente son maximum le soir à cinq heures. La quantité d'azote change constamment, et l'acide carbonique varie en proportion inverse de l'oxygène. En couvrant la surface du liquide avec un drap noir, l'oxygène diminue rapidement, tandis que la proportion des deux autres gaz ne paraît presque pas modifiée.

La respiration des poissons et autres animaux aquatiques se fait en grande partie aux dépens de l'oxygène provenant de cette source; quand les conditions atmosphériques changent et qu'elle vient à manquer, les poissons viennent à la surface de l'eau humer l'air atmosphérique, pour remplacer celui qu'ils ne trouvent plus dans l'eau.

Le débordement d'un fleuve, une crue subite diminuent rapidement la proportion d'oxygène; aussi voit-on, dans ces moments, un grand nombre de poissons périr asphyxiés.

Les eaux marines tiennent en dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique en proportion variable, mais toujours en raison inverse l'un de l'autre. L'oxygène existe en grande quantité dans les jours les plus beaux; il va en augmentant du matin au soir, et atteint son maximum vers trois heures. La moyenne d'un grand nombre d'observations a fourni les résultats suivants :

	Acide carbonique.	Oxygène.
A six heures du matin, marée haute.	13	33
A midi, marée basse.	7	36
A six heures du soir, marée haute.	10	33

L'eau de la mer est donc plus oxygénée que l'eau des fleuves et des rivières, puisque dans ces dernières on ne trouve que 32 pour 100 d'oxygène, d'après MM. de Humboldt et Gay-Lussac. Il est d'ailleurs difficile de déterminer la cause à laquelle on doit rapporter cette oxygénéation, la quantité d'animalcules trouvés dans les eaux de la mer est bien faible pour expliquer ce résultat.

M. Morren a cherché, par de nombreuses expériences, à déterminer l'influence des différentes conditions dans lesquelles se manifeste le développement des infusoires. Dans l'eau de source exposée à l'action de la lumière il se produit des végétaux microscopiques, tandis qu'on ne voit apparaître aucun être vivant dans celle qui est conservée dans l'obscurité complète. Si l'eau contient quelques substances végétales en macération, il se développe des végétaux et des animaux dans l'obscurité, lorsque au contraire le vase est exposé au soleil, il ne contient que des animaux. Les résultats sont à peu près les mêmes dans les macérations de substances animales.

L'intensité de la lumière modifie les résultats obtenus avec un même liquide. Si on dispose une série de vases à des distances croissantes d'une fenêtre très-éclairée; ou bien si on modère l'action de la lumière en pratiquant dans les lames opaques qui forment ces vases des ouvertures plus ou moins larges ou plus ou moins nombreuses, on observe : que dans les

vases qui reçoivent très-peu de lumière, il ne se développe que les végétaux les plus inférieurs, tels que des *globulina* *termo*; dans les vases plus éclairés on rencontre des êtres doués d'une organisation plus complexe, et il semble que leur organisation soit, dans de certaines limites, subordonnée à l'intensité de l'action de la lumière. La nature des infusoires dépend du reste de la quantité de liquide employé, et des matières en macération. Elle varie avec la diaphanéité des parois des vases. Pour les vases transparents, le développement des végétaux inférieurs se fait surtout dans les parties où la réfraction envoie le plus de lumière, les infusoires animaux s'y produisent aussi en plus grande abondance.

Les verres colorés ont été essayés dans ces expériences comme pour les végétaux. M. Morren a vu que les rayons rouges et les rayons jaunes favorisent à peu près également la production de ces êtres; que les rayons orangés agissent plus lentement; enfin que les autres rayons paraissent impropre à déterminer le développement des infusoires.

La lumière est donc indispensable à la formation des infusoires et la nature de ces êtres paraît, jusqu'à un certain point, subordonnée à son intensité et à sa composition.

M. Moleschott, de Heidelberg, a reconnu récemment que la quantité d'acide carbonique exhalée par les grenouilles n'est pas aussi grande dans les ténèbres qu'à la lumière. Ces animaux, renfermés dans un vase de verre de la contenance d'environ un litre, recevaient un courant d'air dépouillé de son acide carbonique, au moyen de la potasse. L'air, en sortant de l'appareil, passait sur de l'acide sulfurique, et plus loin, cédait l'acide carbonique dégagé à des tubes pleins de potasse caustique; l'écoulement gazeux était réglé de manière à laisser les animaux le plus possible dans les conditions physiologiques normales; puis on fit les expériences successivement à la lumière et dans l'obscurité, en ne laissant varier la température que dans de faibles limites.

D'après la moyenne des nombres obtenus dans trente-quatre séries d'expériences, le poids de l'acide carbonique produit dans l'obscurité est au poids du même gaz exhalé à la lumière dans le rapport de 1 à 1,25, ce qui fait une différence de $1/4$ en faveur de l'action de la lumière. L'augmentation de température dans le second cas a été, il est vrai, de

près de 3°, mais la différence, dit l'auteur, ne peut être expliquée par la variation de température, quoique M. Vierordt ait prouvé, que pour l'homme, la quantité d'acide carbonique expiré diminue lorsque la température augmente. M. Moleschott devrait considérer que l'expérience est faite ici sur un animal à température variable et que, d'après la loi à peu près générale applicable à ces animaux, le froid ralentit les fonctions de respiration. Il paraît cependant que l'effet doit réellement être attribué à la lumière parce que, par un ciel obscur, cette différence n'a pas été observée, les conditions de température étant d'ailleurs les mêmes.

Dans ces expériences, les grenouilles ont toujours été soumises à la lumière diffuse des nuées, elles ne peuvent supporter la lumière directe du soleil sans être atteintes d'une inflammation de la peau très-violente à laquelle elles ne résistent pas. M. Moleschott a cherché à évaluer l'influence de la radiation chimique sur le dégagement d'acide carbonique; dans ce but, il a préparé un *papier photomètre* avec du nitrate d'argent. Vers le milieu de chaque expérience, ce papier restait exposé pendant cinq minutes devant le flacon contenant des grenouilles, et la teinte qu'il prenait était comparée à vingt couleurs graduées formant une échelle. Il résulte de quatre-vingt-quatorze expériences que la quantité d'acide carbonique exhalée sous une faible lumière est à celle qui a été exhalée sous une lumière intense dans la proportion de 1 à 1,18; la température n'ayant varié que de 1°,65, on doit bien sûrement attribuer la différence à l'action de la radiation solaire.

L'action de la lumière ayant été bien constatée, M. Moleschott a voulu examiner si cette influence est exercée par l'intermédiaire des yeux ou par celui de la peau, ou bien enfin par tous les deux à la fois. Des grenouilles rendues aveugles à l'aide d'une forte cautérisation des yeux au nitrate d'argent, ont été comparées à des animaux intacts; les nombres obtenus dans quinze expériences ont donné pour moyenne le rapport de 100 à 114 comme exprimant la proportion d'acide carbonique produit par les grenouilles aveugles au gaz produit par les grenouilles intactes.

Des essais faits avec les grenouilles aveugles seulement, placées successivement dans les ténèbres et à la lumière ont donné le rapport de 100 à 115, ce dernier nombre correspondant aux grenouilles intactes.

En employant le papier photométrique, le rapport a été de 100 à 123, pour la comparaison de la radiation chimique la plus faible à la plus intense. Il ressort de ces dernières expériences ce fait très-curieux, que l'impression de la lumière sur les yeux contribue à augmenter le poids de l'acide carbonique produit.

M. Moleschott résume les résultats auxquels il est arrivé en ces termes :

« 1° Les grenouilles, pour les mêmes unités de poids et de temps, exhalent depuis $1/12$ jusqu'à $1/4$ d'acide carbonique de plus, lorsqu'elles respirent sous l'influence de la lumière au lieu de respirer dans l'obscurité, tant que les degrés de température sont égaux ou ne diffèrent que peu.

» 2° La production d'acide carbonique s'accroît en raison directe de l'intensité de la lumière à laquelle les animaux sont exposés.

» 3° L'influence que la lumière exerce, en augmentant la quantité d'acide carbonique, est transmise en partie par les yeux, en partie par la peau. »

Ainsi la lumière a une influence très-marquée sur un phénomène qui est en relation intime avec les fonctions de nutrition ; ces fonctions tenant elles-mêmes sous leur dépendance toutes les transformations organiques, quelles qu'elles soient, on peut s'attendre à voir la radiation lumineuse modifier profondément la marche des évolutions de l'organisme, telles que celles qui se rattachent au développement des animaux.

Il y a trente et quelques années que W. Edwards a mis hors de doute l'influence de la lumière sur le développement des batraciens. Cet auteur mit dans deux vases d'égale capacité, l'un transparent et l'autre opaque, des œufs de grenouille avec de l'eau ; il couvrit le vase opaque avec un couvercle de papier noir et le vase transparent avec une lame de verre ; puis il exposa le vase transparent aux rayons solaires, en s'arrangeant de manière à avoir dans le vase opaque la même température. Dans ces conditions, il vit éclore tous les œufs exposés aux rayons du soleil, tandis qu'aucun de ceux qui étaient placés dans l'obscurité ne parvint à se développer.

Après avoir constaté que la lumière est indispensable à l'évolution des œufs de grenouille, W. Edwards démontre qu'elle a aussi de l'influence sur la métamorphose des larves. L'expérience a été faite sur des têtards

de crapauds accoucheurs. Des têtards furent placés comparativement dans des vases plongés dans l'eau, dont les uns recevaient l'action de la lumière et dont les autres étaient maintenus dans l'obscurité. Tous les têtards exposés à la lumière subirent leurs métamorphoses, tandis que parmi ceux qui étaient restés dans l'obscurité un seul se développa; les autres acquirent de grandes dimensions en conservant leur forme primitive.

Les expériences de W. Edwards et celles de M. Moleschott démontrent donc, d'une manière non douteuse, l'influence des radiations lumineuse et chimique sur le développement d'animaux assez élevés dans l'organisation. Dès lors il est à présumer que cette action s'étend aux autres classes des vertébrés, mais ici nous manquons d'expériences bien concluantes.

La lumière n'agit guère sur l'homme et sur les animaux supérieurs qu'en leur donnant la sensation de la forme des corps, de leurs couleurs et de leurs distances. Les organes qui transmettent la sensation optique sont, du reste, développés en raison directe de la quantité de lumière qu'ils reçoivent: les yeux de la taupe et du spalax-tylphus, qui vivent sous terre, sont très-petits et rudimentaires; ceux des oiseaux sont en général très-développés, sauf peut-être ceux de l'apteryx, qui habite des forêts épaisses et sombres; chez les reptiles qui sont peu exposés à la lumière, leur volume est toujours assez faible, ainsi les yeux sont d'une petitesse extraordinaire chez les pipa, les cielies, et tout à fait rudimentaires chez les protéidés. La même loi s'étend aux poissons: on peut à peine distinguer les yeux des myxinoïdes qui, vivant dans la vase des ruisseaux, sont plongés dans une obscurité presque complète.

La coloration brune de la peau des personnes qui s'exposent au grand soleil n'a lieu que sur les parties non recouvertes par les vêtements, et comme elle se produit en l'absence d'une forte chaleur, on doit l'attribuer à l'action de la radiation lumineuse et peut-être aussi de la radiation chimique. Des observations semblables, faites sur la peau du nègre, démontrent l'influence de la radiation lumineuse sur la coloration des téguments; M. de Humboldt rapporte que chez les nègres constamment employés à travailler au grand soleil, la peau est plus noire que chez ceux qui, vivant

dans l'aisance, peuvent se garantir des rayons du soleil. Dans nos usines, les ouvriers qui sont exposés à une chaleur intense conservent la teinte blanche de la peau, tant qu'ils ne reçoivent pas la lumière solaire. Enfin, chacun sait que c'est au printemps, dans les premiers beaux jours, que les habitants de la campagne voient leur teint brunir, sans cependant qu'à cette époque la température soit très élevée.

Une observation à peu près semblable s'applique au pelage des mammifères; sur le dos, le pelage est toujours beaucoup plus foncé que sur le ventre qui ne reçoit pas directement l'action de la lumière; le pelage d'hiver est moins foncé que celui d'été; l'hermine, par exemple, présente en été une teinte rousse, mais son pelage d'hiver est d'un blanc d'autant plus pur que le climat est plus rigoureux. Il faut dire cependant qu'ici la radiation calorique ajoute son effet à celui de la radiation lumineuse.

Il en de même pour les oiseaux; le plumage du dos est plus foncé que celui qui recouvre le ventre; la coloration est d'autant plus vive que l'animal vit dans un pays plus voisin de l'équateur: cette observation s'étend même aux insectes.

L'exposition au grand soleil de toute la surface du corps paraît en favoriser la bonne conformation. C'est ce qui résulte d'une observation de M. de Humboldt dans ses voyages aux contrées équinoxiales; il dit, en parlant des Chaymas: « Hommes et femmes ont le corps très-muscleux et charnu, à formes arrondies. Il est superflu d'ajouter que je n'ai vu aucun individu qui ait une difformité naturelle; je dirai la même chose de tant de milliers de Caribes, de Myrcas, d'Indiens Mexicains et Péruviens, que nous avons observés pendant cinq ans. Ces difformités du corps, ces déviations, sont infiniment rares dans de certaines races d'hommes, surtout chez les peuples qui ont le système dermoïde fortement coloré. Je ne puis croire qu'elles dépendent uniquement du progrès de la civilisation et de la mollesse de la vie, de la corruption des mœurs. »

La radiation lumineuse n'est pas sans influence sur l'état de santé; une lumière trop vive produit l'amaurose. Ainsi on voit des personnes perdre subitement la vue pour avoir voulu observer une éclipse de soleil sans l'interposition d'un verre noir.

On a attribué le coup de soleil à l'action d'une chaleur trop intense, mais il est démontré que certaines personnes, sujettes à cette affection, la contractent dans des circonstances où le soleil est peu ardent. D'une autre part, la lumière influe évidemment sur les déviations de forme des parties molles et dures chez les enfants affectés de scrofules. C'est ainsi que cette maladie se développe surtout chez les enfants qui habitent des lieux où la lumière n'a pas d'accès facile; de là les bons effets qu'on retire de l'exposition à une lumière modérée. Enfin, il est bien reconnu que la lumière, en frappant la rétine, produit d'autres sensations que celles de la vision, quoique l'impression optique produise quelquefois l'exacerbation générale des symptômes de certaines maladies. D'ailleurs, les travaux récents de M. Moleschott nous montrent qu'une exhalation peut être modifiée sous l'influence de la sensation optique, peuvent faire espérer qu'on découvrira plus tard chez l'homme des effets analogues.

2° Influence de la radiation calorifique solaire sur les animaux.

La radiation calorifique du soleil tient sous sa dépendance immédiate l'existence des animaux; un certain degré de chaleur est nécessaire à l'accomplissement de leurs fonctions; dès que la température s'abaisse au-dessous de certaines limites qui varient suivant la place que l'animal occupe dans l'échelle zoologique, les mouvements se ralentissent, toutes les fonctions deviennent moins actives, et si l'abaissement de température est suffisant, la mort en est inévitablement la conséquence.

Parmi tous les animaux, ceux qui sont doués d'une température constante (animaux à sang chaud) jouissent seuls pendant toutes les saisons du libre exercice de leurs fonctions. Tous les autres s'engourdissement aux approches de la saison froide et restent en hiver dans une espèce de léthargie pendant laquelle les fonctions de relation cessent complètement, les fonctions de la vie organique persistant, quoique considérablement affaiblies.

Les animaux inférieurs commencent à s'engourdir après l'équinoxe d'automne, les mouvements deviennent plus lents et chacun d'eux

cherche une retraite où il pourra résister à la saison froide. Devenu immobile, l'animal, ne pouvant plus prendre de nourriture, vit aux dépens de sa propre substance; d'ailleurs toutes les fonctions sont tellement languissantes et la dépense de matière si faible, qu'il peut vivre ainsi des mois entiers sans prendre d'aliments. Ces phénomènes, qu'on désigne sous le nom d'*hibernation*, se rencontrent chez quelques mammifères, tels que la marmotte, la chauve-souris, le loir, le muscardin et même l'ours et le blaireau, etc. La plupart des autres animaux, sauf les oiseaux, y paraissent soumis. L'exception qu'on avait faite pour les poissons doit maintenant être abandonnée, de nombreuses observations ayant démontré qu'un grand nombre de ces animaux éprouvent l'engourdissement hibernal.

La température des reptiles, des poissons et des invertébrés subit donc de grandes variations, tandis que celle des mammifères et des oiseaux est constante, à quelques exceptions près.

Si dans le règne animal la température est constante dans l'espèce, nous trouvons dans le règne végétal quelque chose de constant dans la quantité de chaleur reçue par chaque plante, quand on compare sa culture dans des climats différents.

En effet, chaque plante paraît absorber à peu près la même quantité de chaleur de sa naissance à sa mort, quelle que soit la région dans laquelle elle vit. En comparant le temps qu'une même espèce de plante cultivée en Europe et en Amérique met à parvenir à maturité, M. Boussingault est arrivé à ce résultat remarquable que le nombre de jours qui sépare le commencement de la végétation et la maturité est d'autant plus grand, que la température moyenne sous l'influence de laquelle la plante végète est moindre; et qu'en multipliant le nombre de jours par leur température moyenne, on obtient un nombre constant; il suit de là que la plante reçoit dans le cours de son existence toujours la même quantité de chaleur, quel que soit le climat sous lequel elle végète.

Des études plus récentes ont appris que, dans l'application de cette loi, il faut plutôt tenir compte de la chaleur solaire que de la température moyenne du lieu. Ainsi, par exemple, le blé commençant à végéter à 6, si, depuis ce moment, on ajoute les degrés exprimant la température moyenne de chaque jour (à l'ombre), on trouve 1601° à Orange et 1943° à Paris,

mais si on ajoute les nombres de degrés de chaleur solaire, on trouve pour Orange 2468° et pour Paris 2452°; la loi s'applique donc évidemment mieux au dernier cas qu'au premier

Les animaux à sang chaud reçoivent, par voie de rayonnement et par le contact du milieu ambiant, une quantité de chaleur qui paraît complémentaire de celle que l'animal développe, si toutefois on a soin de tenir compte de la chaleur emportée par les variations qu'éprouvent la transpiration et l'exhalation et autres fonctions analogues. Des expériences de W. Edwards démontrent qu'en effet l'abaissement de température, dans un temps donné, est plus considérable pendant la saison chaude que pendant la saison froide. Des moineaux, placés dans un vase entouré de glace, ont perdu, au mois de février, 4 dixièmes de degré en une heure, tandis que des animaux semblables ont perdu près de 4 degrés, c'est-à-dire dix fois plus, au mois de juillet, pendant le même temps et dans des conditions expérimentales semblables.

L'auteur arrive à cette conclusion importante, que chez les animaux dits à sang chaud, *l'élévation soutenue de la température diminue leur faculté de produire de la chaleur, et que l'état opposé de l'atmosphère l'augmente.* L'hydrogène et le carbone brûlés dans l'organisme suivent évidemment les mêmes variations.

Résumé et conclusions.

De tous les faits qui viennent d'être exposés dans cette seconde partie, il résulte :

1° Que les radiations lumineuse et chimique interviennent plus efficacement que la radiation calorifique dans la respiration des végétaux.

2° Que les radiations lumineuse, calorifique et chimique exercent une influence marquée sur l'absorption, l'exhalation et la direction de tiges.

3° Que la lumière seule détermine les mouvements des feuilles, tant que les variations de température ne dépassent pas certaines limites.

4° Que les radiations lumineuse et chimique exercent une action évidente sur le développement et la respiration d'un grand nombre d'animaux.

maux, ainsi que sur la coloration de la peau de l'homme et sur quelques-unes de ses maladies.

5° Enfin que la chaleur solaire tient sous sa dépendance la plus immédiate toutes les fonctions des animaux.

Dans cette seconde partie de ma thèse, s'il n'a pas été question de l'influence de la radiation *phosphorogénique* sur les êtres vivants, c'est que les expériences manquent sur ce sujet. On pourrait essayer de faire agir cette radiation sur les végétaux et animaux phosphorescents. Cependant, d'après un travail de M. Fabre, on peut dire que son action est nulle sur l'agaric de l'olivier, puisque ce champignon n'est pas plus phosphorescent quand il a été exposé au soleil que quand il a été conservé dans les ténèbres. Si toutefois il en était autrement, il faudrait admettre une action neutralisante des autres radiations. Rien ne serait plus facile du reste que d'exposer les végétaux et animaux phosphorescents dans la partie phosphorogénique du spectre solaire.

D'après ce qui précède, on pourrait se demander si les colorations variées que prennent les nuages quand ils réfléchissent et réfractent la lumière solaire n'auraient pas quelque influence sur la végétation? Des données semblables rendraient peut-être compte des différences qu'on observe dans les récoltes quand toutes les conditions de température, d'humidité, de pression barométrique, etc., paraissent être les mêmes.

L'étude de l'action des divers rayons lumineux du spectre solaire sur la végétation ayant donné des résultats assez positifs, il serait sans doute intéressant de faire agir séparément, sur les végétaux et les animaux, des rayons calorifiques de thermocroise différente, tels que les plus réfrangibles qui correspondent aux rayons violets, et les moins réfrangibles qui sont analogues des rayons lumineux rouges.

OUVRAGES ET MÉMOIRES A CONSULTER.

- Melloni, la Thermochrose ou Coloration calorifique.
- Gavarret, Physique médicale.
- Pouillet, Éléments de physique expérimentale.
- Lamé, Cours de physique de l'École polytechnique.
- Dumas, Essai de statique chimique des êtres organisés.
- Boussingault, Économie rurale.
- W. Edward, Influence des agents physiques sur la vie.
- De Quatrefages, Souvenirs d'un naturaliste.
- Stannius et Siebold, Anatomie comparée.
- Muller, Manuel de physiologie.
- Dugès, Physiologie comparée.
- De Candolle, Physiologie végétale.
- De Mirbel, Physiologie végétale.
- Alph. de Candolle, Géographie botanique.
- J.-E. Bérard, Mémoires de la Société d'Arcueil.
- Beccari, membre de l'Institut de Bologne.
- Eisenlohr, Annales de Poggendorff, t. 93.
- Fabre, Annales des sciences naturelles, t. 4.
- Scoutetten, l'Ozone.
- Annales de chimie et de physique, 3^e série.
- Stokes, Phénomène de la fluorescence.
- Arago, Action chimique de la lumière, t. 7.
- Claudet, Action sur les plaques sensibles, t. 22.
- Cloez et Gratiolet, Influence de la lumière sur la végétation, t. 32.
- Morren, Influence de la lumière sur les matières organiques, t. 1 et 12. —
- Comptes rendus de l'Académie des sciences.
- Biot, Sur la radiation atmosphérique comme agent chimique, t. 8.

- Biot, Sur la nature des radiations qui excitent la phosphorescence, t. 8.
- Boussingault, Respiration des plantes sous l'influence de la lumière, t. 10.
- Girou de Buzareigne, Tendance des tiges à se diriger vers la lumière, t. 19.
- Schultz, Action de la lumière sur la respiration des plantes, t. 10.
- Edmond Becquerel, Sur le rayonnement qui accompagne la lumière solaire, t. 11.
- Melloni, Identité des radiations, t. 15.
- Fizeau et Foucault, Interférence des rayons caloriques, t. 25.
- Fizeau et Foucault, Action des rayons rouges sur la plaque daguerrienne, t. 23.
- Fizeau et Foucault, Application du procédé daguerrien à la photométrie, t. 18.
- Edmond Becquerel, Rayons continuateurs, t. 15.
- Dutrochet, Action de la lumière sur la direction des végétaux, t. 4.
- Dutrochet, Inflexion des tiges végétales vers la lumière colorée, t. 17.
- Payer, Tendance des tiges vers la lumière, t. 15.
- Becquerel, Rapport sur le mémoire de M. Payer, t. 16.
- Zantedeschi, Influence de la lumière transmise par les verres colorés, t. 16.