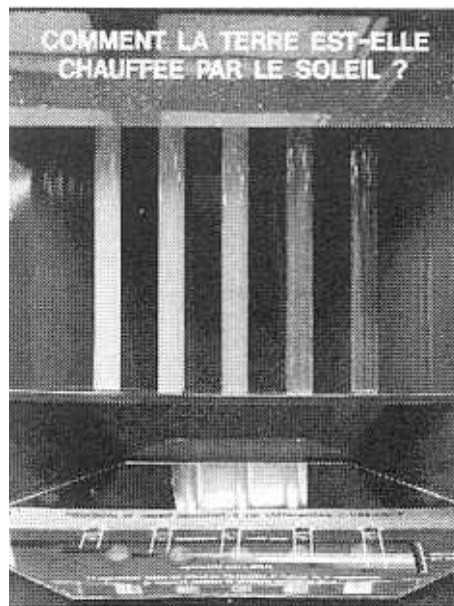




Diffusion

139



Collection de l'Atelier d'exploration

Conception

A. Billet

Conseillers scientifiques

J. Fontan, Programme Environnement, CNRS

M. Herman, Laboratoire d'optique atmosphérique, CNRS

Développement

C. L'hénoret, J. Deléglise

1. Contenu scientifique

Origine de l'aérosol atmosphérique

Analyse qualitative

Analyse théorique

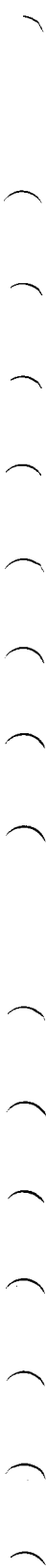
2. Description de la manipulation

3. Exploitation pédagogique

Diffusion par les particules d'aérosol

Diffusion par les particules d'hydrosol

Diffusion moléculaire



Introduction

Comment l'atmosphère transmet-elle le rayonnement solaire ? La manipulation sur la diffusion donne des éléments de réponse à cette question. En se déplaçant dans l'atmosphère, le rayonnement solaire est transmis, diffusé, réfléchi, absorbé par les molécules et les particules d'aérosols. L'énergie incidente sur la surface terrestre dépend donc de nombreux facteurs, comme la qualité optique de l'atmosphère dont l'influence sur le bilan thermique est aujourd'hui un point important de la recherche scientifique.

Considérons le rôle complexe des nuages et de l'aérosol dans les modèles de prévision des changements climatiques : si l'atmosphère est polluée par des particules, l'énergie solaire réchauffant le sol est moindre et sa température diminue. Mais ce phénomène est compensé par l'absorption du rayonnement infrarouge terrestre par les particules et certains gaz à effet de serre, ce qui se traduit par l'augmentation de la température des basses couches de l'atmosphère. Il existe donc un risque de modification des équilibres actuels qui peut entraîner des conséquences dramatiques dans certaines parties du monde, notamment les régions arides et semi-arides. On ne peut pas tenir ce raisonnement avec les nuages car si la température augmente, l'évaporation et les nuages s'accroissent, limitant l'énergie incidente, donc la température.

La manipulation « Comment l'atmosphère transmet-elle le rayonnement solaire ? » s'inscrit dans une thématique sur le changement climatique provoqué par les activités humaines. Son objectif est de sensibiliser le public aux effets optiques de la pollution atmosphérique et de montrer la nécessité de réduire les émissions de polluants vers l'atmosphère. C'est une simulation du phénomène de diffusion par de fines particules de matière en suspension dans un liquide (eau).

Son concept a été élaboré à partir de l'analyse des difficultés de compréhension observées sur une reproduction de la manipulation « Blue sky » de

l'Exploratorium de San Francisco qui montre pourquoi le ciel est bleu (reproduction de cette manip page de gauche). Tout d'abord, la diffusion de la lumière (ou rayonnement solaire) par l'eau (ou par l'air) n'est pas un phénomène connu du public. Sa compréhension impose d'intégrer des notions comme la décomposition spectrale de la lumière visible, la nature de la lumière comme onde électromagnétique, l'interaction onde électromagnétique-matière.

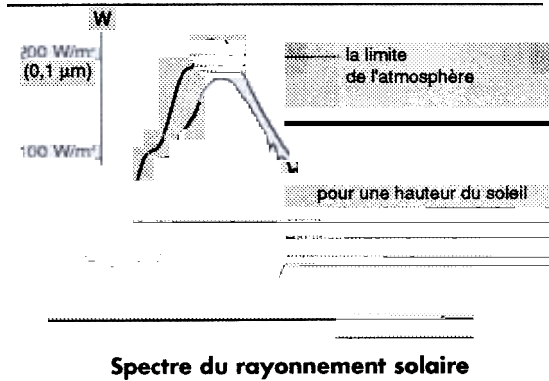
Ensuite, le recours à la simulation pour comprendre ce phénomène (similitude des phénomènes de diffusion dans l'eau et dans l'air) n'est pas forcément efficace dans une logique de communication grand public. Notons que la diffusion de la lumière n'est pas évidente à expliquer simplement ; nous n'avons pas trouvé d'explications accessibles à tous dans les ouvrages de vulgarisation. Il est vrai qu'il a fallu attendre la fin du XIX^e siècle pour voir sa modélisation par Lord Rayleigh.

Notre contribution à une meilleure compréhension par rapport à la manipulation « Blue sky » a porté sur la mise en scène permettant la comparaison d'expériences dont un paramètre varie de l'une à l'autre, notamment le nombre de particules en suspension dans l'eau. Nous avons placé cinq tubes verticaux. En fonction de la concentration en additif pour peinture dont la dilution dans l'eau donne de fines particules en suspension, on obtient successivement à l'extrémité opposée à l'éclairage par une source de lumière de même puissance, une couleur blanche, jaune, orangé, rouge et rouge foncé (les couleurs du soleil du matin et du soir). Ainsi, en observant les tubes sur le côté et en bout, on peut établir la relation qui existe entre les couleurs apparentes du ciel et du soleil, le trouble de l'atmosphère.

Quant à la contextualisation du dispositif expérimental de laboratoire dans son cadre naturel de référence, nous avons intégré un décor présentant une zone industrielle, une ville et un bord de mer tropical.

1. Contenu scientifique

Figure 1



Spectre du rayonnement solaire

L'atmosphère est constituée de gaz, de vapeur, de gouttes ou de cristaux de glace et de fines particules (fumées, poussières). Le mélange gaz-particules s'appelle un aérosol. Lors de sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire direct est affaibli (extinction) par les phénomènes d'absorption et renvoyé partiellement dans l'espace par la réflexion (nuage) et la diffusion.

Les particules d'aérosols jouent un rôle complexe dans le bilan radiatif. Elles diffusent et absorbent le rayonnement solaire, l'absorption se produisant principalement dans la partie infrarouge. Elles absorbent également le rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre. La diffusion du rayonnement solaire entraîne une rétrodiffusion et ainsi un refroidissement de la planète. L'absorption du rayonnement infrarouge tellurique augmente l'effet de serre avec réchauffement de la basse atmosphère. Les effets globaux dépendent des caractéristiques optiques des particules d'aérosol et des propriétés du sol (la réflexion ou l'albédo, voir dossier « albédo »).

L'origine de l'aérosol atmosphérique

Les combustions produites par l'homme émettent des particules riches en carbone et en métaux comme le plomb, le mercure et le vanadium. On fabrique ou on utilise dans l'industrie des matériaux de construction qui émettent de nombreuses variétés minérales comme la calcite, le quartz, le gypse, le feldspath, etc. L'industrie sidérurgique injecte dans l'air des particules d'oxyde de fer, de cuivre, de zinc, de plomb, d'aluminium, etc. Certains gaz émis par les

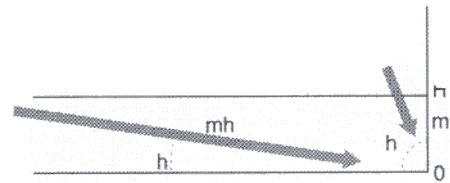
combustions se transforment photo-chimiquement ou chimiquement et donnent des particules de sulfate et de nitrate. Dans la nature, les éruptions volcaniques, l'érosion par le vent des continents et des océans produisent également des particules d'aérosols.

La faible durée de vie des aérosols atmosphériques (de l'ordre d'une semaine) et l'hétérogénéité de leur distribution spatiale empêchent l'homogénéisation de leur concentration à l'échelle de la planète. Il en résulte que les conséquences de cette augmentation des émissions d'aérosols ne peuvent être réellement appréciées qu'à travers des approches à caractère régional. Notons que les particules d'aérosols servent aussi de noyau de condensation et sont indispensables à la formation des nuages.

Analyse qualitative

La longueur de trajet du rayonnement dépend de la hauteur du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère. En considérant l'atmosphère comme une couche parallèle, la masse d'air traversée mh ou le trajet optique du rayonnement solaire dans l'atmosphère est définie par la distance OH , d'où $mh = OH/\sin h$, avec h = hauteur du soleil en degré d'angle et OH = épaisseur d'air traversée. Si $h = 90^\circ$, $m = 1$; si $h = 30^\circ$, $m = 2$; si $h = 7^\circ$, $m = 8$.

2



La longueur du trajet du rayonnement dépend de la hauteur du soleil et de l'épaisseur de l'atmosphère.

En considérant l'atmosphère comme une couche parallèle, la masse d'air traversée mh ou le trajet optique du rayonnement solaire dans l'atmosphère est définie par la distance OH , d'où $mh = OH/\sin h$, avec h = hauteur du soleil en degré d'angle et OH = épaisseur d'air traversée. Si $h = 90^\circ$, $m = 1$; si $h = 30^\circ$, $m = 2$; si $h = 7^\circ$, $m = 8$.



1

Rayonnement	Masse d'air	Masse d'air 6
$0,4 \mu\text{m}$	7,2	
$0,4 \mu\text{m}$	40,8	
infrarouge		6

Diffusion spectrale du rayonnement solaire par les particules d'aérosol en fonction de son trajet dans l'atmosphère.

Le rayonnement solaire incident se décompose comme suit dans le tableau ci-dessus : une partie du rayonnement solaire direct traversant l'atmosphère est partiellement diffusée (réémise dans toutes les directions) par les particules d'aérosols et les molécules. Ainsi, tout le rayonnement solaire diffus n'est pas transmis jusqu'au sol, ce qui explique entre autres choses - que les cosmonautes voient la planète terre bleue. La diffusion dépend de la longueur du trajet optique dans l'atmosphère ou de la hauteur du soleil dans le ciel (fig. 4) et du trouble de l'atmosphère (tabl. 2).

La diffusion par les molécules (fig. 6 a)

La diffusion moléculaire est liée à la longueur du trajet optique dans l'atmosphère pure. Elle agit peu sur le proche infrarouge mais de façon importante sur les courtes longueurs d'ondes. En ce qui concerne son influence sur le bilan radiatif, la diffusion moléculaire diminue de 10 % l'énergie solaire à midi en été.

Pourquoi des couleurs différentes du ciel ?

La présence de l'aérosol atmosphérique se manifeste par un bleu plus ou moins « laiteux ». La diffusion par les particules d'aérosols de très petites dimensions et par les molécules est plus importante dans le bleu. Elle est à l'origine du bleu du ciel. En revanche, si les particules ont des dimensions du même ordre que les grandeurs des longueurs d'onde du rayonnement solaire, l'effet spectral est moins important et le ciel paraît laiteux et blanc en présence de nuages. L'absorption et la diffusion simultanées par les nuages est un phénomène très variable selon leur nature, leur altitude, leurs dimensions et leur densité. Le coefficient de trouble atmosphérique caractérise le contenu de l'atmosphère en aérosols diffusants dont l'effet spectral est lié à leur dimension et à leur nature.

Figure 3

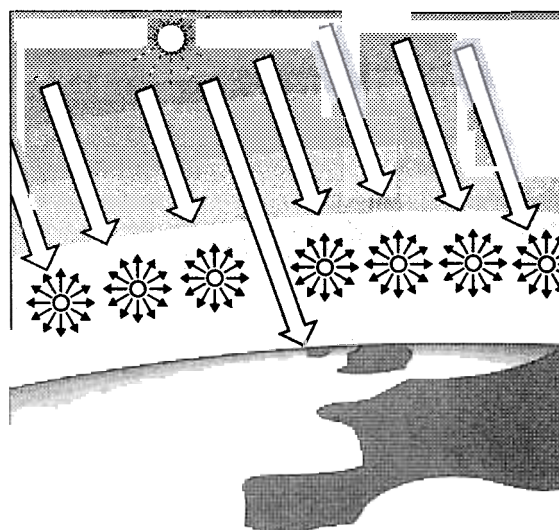
rayonnement incident rayonnement réfléchi



rayonnement transmis

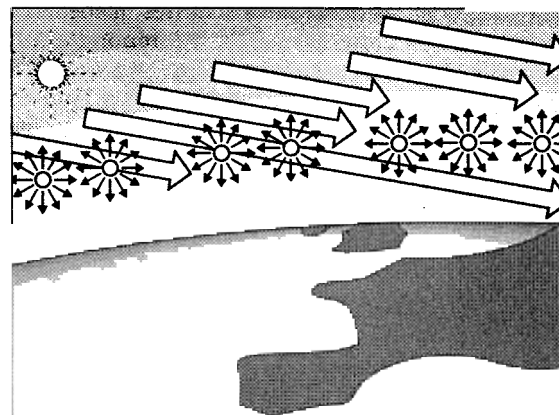
Le rayonnement solaire est transmis, absorbé, réfléchi, diffusé en traversant l'atmosphère.

Figure 4



Diffusion du rayonnement solaire pour une hauteur du soleil de 60° (m = 1,2).

Figure 5



Diffusion du rayonnement solaire dans la soirée (m = 4).

Tableau 2

Flux du rayonnement solaire directe en W/m ²				
Hauteur du soleil	60-90 °	30 °	15 °	7 °
ciel bleu foncé air sec	1000	850	650	400
ciel bleu laiteux air sec	800	710	450	250
ciel blanchâtre air humide	700	500	300	100
Flux du rayonnement solaire diffus reçu sur une surface horizontale en W/m ²				
Hauteur du soleil	60-90 °	30 °	15 °	7 °
ciel bleu foncé air sec	70	55	35	20
ciel bleu laiteux air sec	140	80	50	30
ciel blanchâtre air humide	200	140	70	35

Le flux du rayonnement solaire direct et diffus reçus par une surface horizontale en fonction de la hauteur du soleil.

Source : d'après C. Perrin de Brichambaut, *Encyclopaedia universalis*, 1990.

L'énergie solaire reçue par le sol

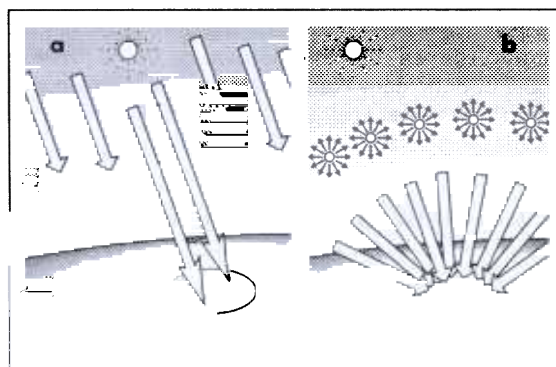
L'énergie solaire incidente au sol est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. Le rayonnement diffus correspond à 20 % de l'énergie reçue par une surface horizontale par ciel clair, mais atteint 100 % par ciel couvert. La part du rayonnement diffus croit lorsque le soleil décline pour dépasser 50 % tôt le matin ou tard le soir. L'extinction du rayonnement solaire pour chaque longueur d'onde est le résultat du produit des transmissions après diffusion par les molécules, les particules et l'absorption par les gaz.

Analyse théorique

La théorie de la diffusion s'est établie progressivement. Lord Rayleigh a élaboré à la fin du XIX^e siècle, en 1871, une première modélisation mathématique de la diffusion par les molécules gazeuses dont les dimensions sont très inférieures à la longueur d'onde. Il cherchait à répondre à la question : pourquoi le ciel est-il bleu ? Il a énoncé la loi appelée la diffusion de Rayleigh ou de Tyndall : l'intensité diffusée par de très petites particules dans toutes les directions est proportionnelle à l'intensité du rayonnement incident et au carré du volume moyen des particules ; elle est inversement proportionnelle à la quatrième puissance de la longueur d'onde du rayonnement incident.

Autrement dit, l'énergie totale rayonnée est proportionnelle à R^2/λ^4 où R est le rayon de la particule supposée sphérique et λ la longueur d'onde du rayonnement. L'intensité diffusée en fonction de l'angle ϕ , mesurée à partir de la direction de la lumière incidente, varie suivant $1 + \cos^2 \phi$. La distribution angulaire de la lumière diffusée (fig. 10)

Figure 6



Le rayonnement global reçu par la surface est égal au rayonnement direct + rayonnement diffus.

- a. Rayonnement solaire direct reçu sur une surface.
- b. Rayonnement diffus reçu par une surface.

Tableau 3

rouge extrême	0,780 μm
orangé-rouge	0,610 μm
jaune-orangé	0,590 μm
vert-jaune	0,560 μm
bleu-vert	0,500 μm
violet-bleu	0,440 μm
violet extrême	0,400 μm

Répartition spectrale des couleurs.

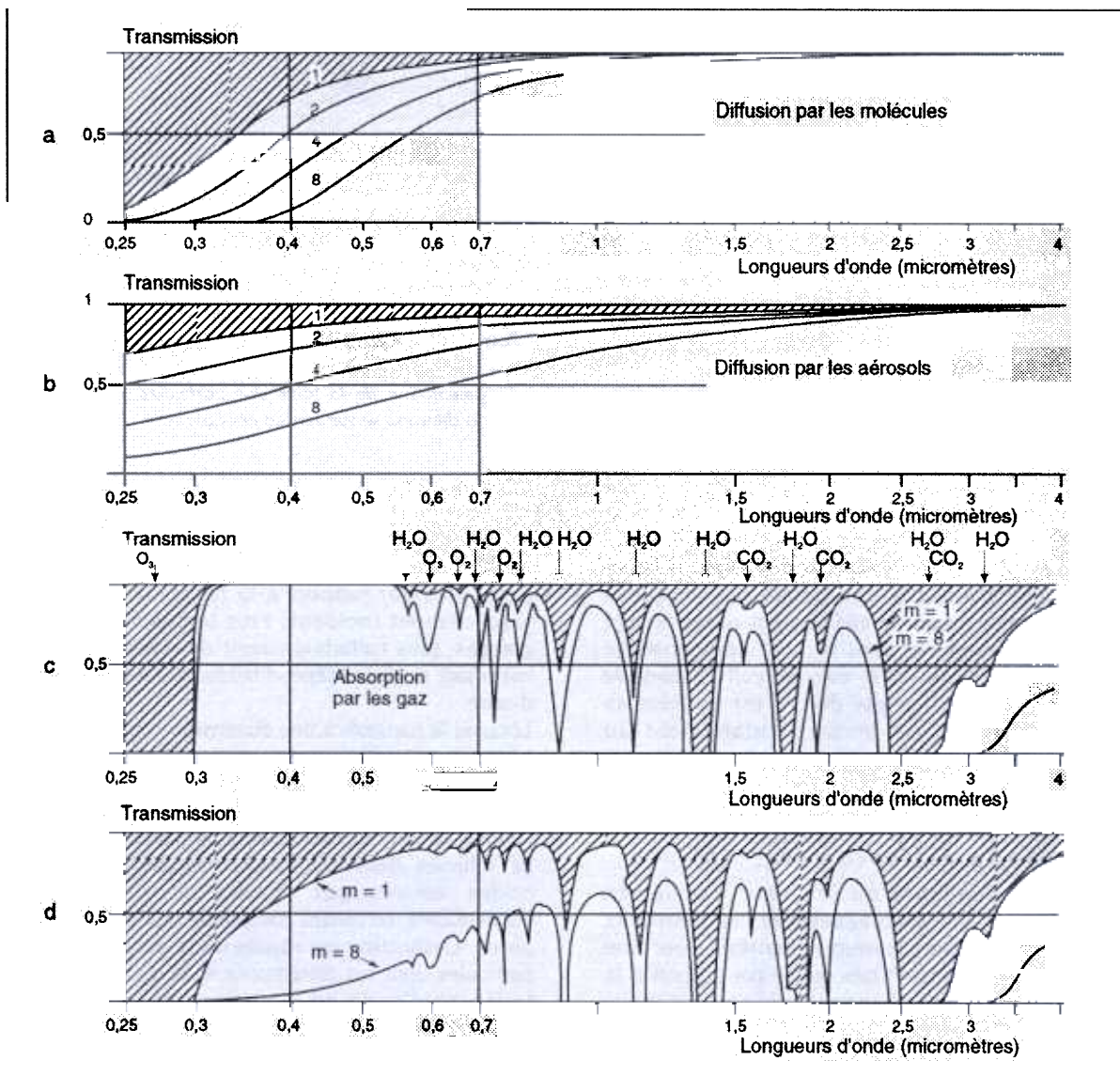
est symétrique par rapport à un plan perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière incidente, c'est-à-dire qu'il y a autant de lumière diffusée vers l'avant et vers l'arrière et un minimum à 90 ° de la direction de la lumière incidente.

Pour une onde d'intensité égale à l'unité, l'intensité diffusée à la distance r, dans la direction ϕ est :
 $F = (9 \Pi^2 V/2 r^2 \lambda^4) \cdot ((m^2 - 1)/(m^2 + 2))^2 (1 + \cos^2 \phi)$.
 V est le volume de la particule, m est l'indice de réfraction.

L'intensité totale diffusée par une particule est :
 $S = 24 \Pi^2 ((m^2 - 1)/(m^2 + 2)) (V/\lambda^4)$.

Les radiations de courte longueur d'onde sont beaucoup plus fortement diffusées que celles de grande longueur d'onde. À flux égal, le bleu est environ huit fois plus diffusé que le rouge. Le bleu du ciel, celui d'une mer calme sont une conséquence de la diffusion de Rayleigh sur les molécules de l'atmosphère ou d'eau ; de même que le bleuté d'une fumée de cigarette ou de certaines brumes.

Figure 7

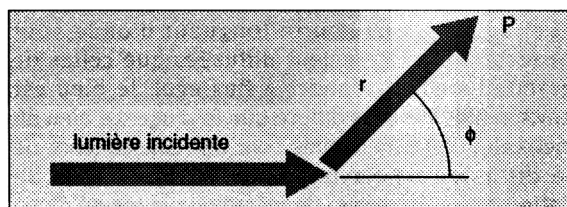


Les graphiques ci-contre précisent les valeurs de l'extinction optique due à l'atmosphère pour les longueurs d'onde comprises entre 0,25 μ m et 4 μ m (rayonnement solaire).

Diffusion par les molécules, diffusion par les aérosols, absorption par les gaz, transmission finale pour les masses d'air traversées indiquées par les cotes des courbes m = 1 : trajet vertical (soleil au zénith), m = 2 : trajet oblique (hauteur : 30 °), m = 4 : trajet oblique (hauteur : 15 °), m = 8 : trajet oblique (hauteur : 7 °). Il s'agit là d'une atmosphère moyenne, relativement pure et peu humide. Rappelons que le rayonnement visible s'étend entre 0,4 mm [violet] et 0,7 mm [rouge sombre].

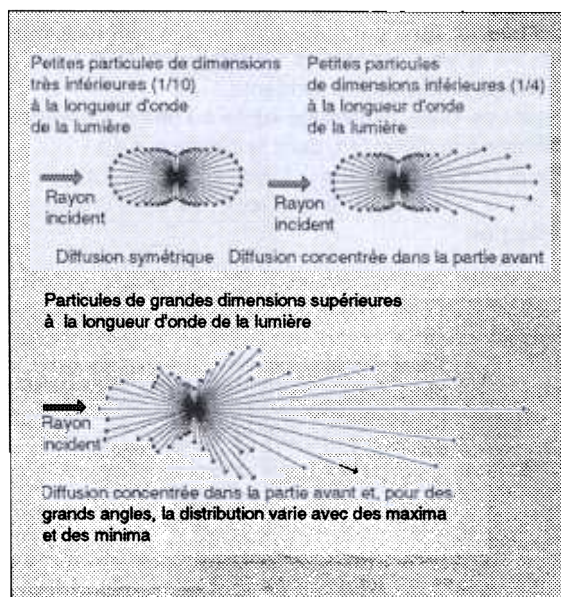
Source : d'après A.F.E.D.E.S., cité dans l'encyclopédie Quillet.

Figure 8



Définition des variables.

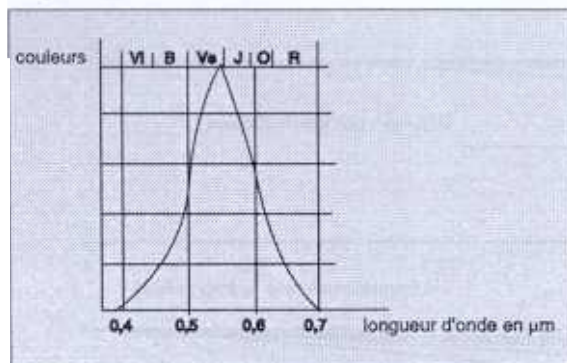
Figure 10



Répartition de la lumière diffusée pour trois dimensions de particules.

Pour les particules de très faibles dimensions, la diffusion est du type Rayleigh et, au fur et mesure de l'augmentation de la taille des particules, on constate que la diffusion se fait surtout par l'avant.

Figure 9



Sensibilité de l'œil aux couleurs.

Comme l'œil perçoit difficilement le violet et un peu mieux le bleu, le ciel paraît bleu.

Les diagrammes de la figure 7 montrent que plus l'épaisseur traversée par le rayonnement solaire est grande, plus la lumière transmise tend vers une coloration rouge. C'est ce qui explique que le soleil est rouge le matin et le soir. Notons que lorsque le disque solaire rougit, le ciel devient rouge-orangé dans la même zone et dans la direction opposée, il reste bleu. Le matin ou le soir, on voit le soleil de face. En revanche, le reste du ciel est vu grâce au rayonnement diffusé perpendiculairement au rayonnement solaire.

Explication simplifiée de la diffusion (fig. 10)

Suivant la fréquence ou longueur d'onde, un rayonnement électromagnétique ou lumineux interagit différemment avec la matière. Pour une particule, de dimension très petite par rapport à la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique incident, le champ électrique de l'onde déplace les centres de gravité des charges électriques positives et négatives de façon à créer un dipôle. Dans ces conditions, le champ associé à l'onde a une valeur sensiblement uniforme dans tout le volume de la particule à un instant donné. L'onde produit des oscillations périodiques du dipôle qui rayonne des ondes secondaires ou diffusées (diffusion de Rayleigh). La lumière est ainsi diffusée dans des directions différentes de celle du rayonnement incident.

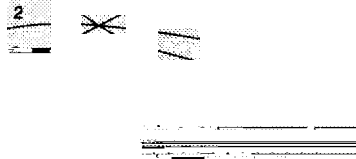
Influence des dimensions des particules

La diffusion dépend fortement des dimensions des particules par rapport à la longueur d'onde du rayonnement incident. Plus les particules sont grandes, plus l'affaiblissement du rayonnement est important et plus il dépend faiblement de la longueur d'onde.

Lorsque la particule a une dimension comparable à la longueur d'onde, on ne peut plus attribuer à la particule un moment dipolaire unique, car le champ d'onde incidente n'est pas uniforme dans tout le volume. On doit décomposer la particule en éléments de volumes élémentaires et considérer ensuite les ondes émises par chacun de ces dipôles élémentaires, en tenant compte de leur différence de phase. L'extinction qui résulte de la diffusion par les particules dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde du rayonnement incident est proportionnelle à $\lambda^{-1,3}$. Le ciel est blanc.

Si les particules ont des dimensions supérieures, la diffusion est réduite à la diffraction des minuscules dioptrés optiques (fig. 12). La lumière incidente est réfléchi et réfractée plusieurs fois. Il en résulte que la lumière transmise dans la direction du rayonnement incident est faible par rapport à la quantité de lumière incidente. La figure 8 donne des valeurs du coefficient d'extinction de brumes et des brouillards.

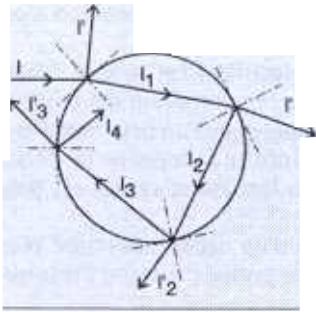
11



Quelques répartitions spectrales de lumières dites blanches.

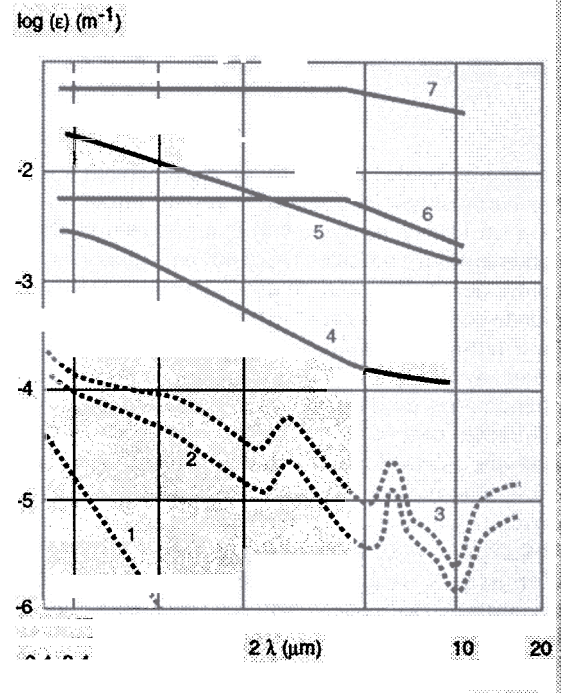
1 : ciel bleu ; 2 : lumière solaire ; 3 : lampe à filament de tungstène.

12



Diffusion selon les lois de l'optique géométrique

Figure 13



Coefficients d'extinction ϵ de brumes et brouillards en fonction de la longueur d'onde λ
 1 : diffusion par l'air ; 2 : brume continentale
 3 : maritime ; 4 : continentale ; 5 : nuage
 6-7 : brouillards stables.

2. Description de la manipulation

148

La simulation de la diffusion du rayonnement solaire par l'atmosphère est réalisée avec du liquide. Pour cela on utilise un tube transparent rempli d'eau contenant des particules très fines en suspension (de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$) pour diffuser les courtes longueurs d'onde comme le violet et le bleu.

Pour faire comprendre le phénomène de diffusion, nous avons pensé que la comparaison des phénomènes de diffusion dans des tubes contenant différentes concentrations de produits en suspension était une solution qui inciterait le public à s'interroger sur le pourquoi de l'obtention de couleurs différentes dans chaque tube.

Les tubes de 60 mm de diamètre et de 2,5 mm d'épaisseur sont en altuglas (plastique très transparent, mais fragile). Ils sont éclairés à l'une de leurs extrémités par une lampe halogène ayant un très faible angle d'ouverture. Les fonds des tubes sont réalisés dans le même matériau. Le produit en suspension dans l'eau - il s'agit de l'*additol* - nous a été donné par le centre d'étude, de recherche et de développement d'Elf Atochem. Il est utilisé dans la

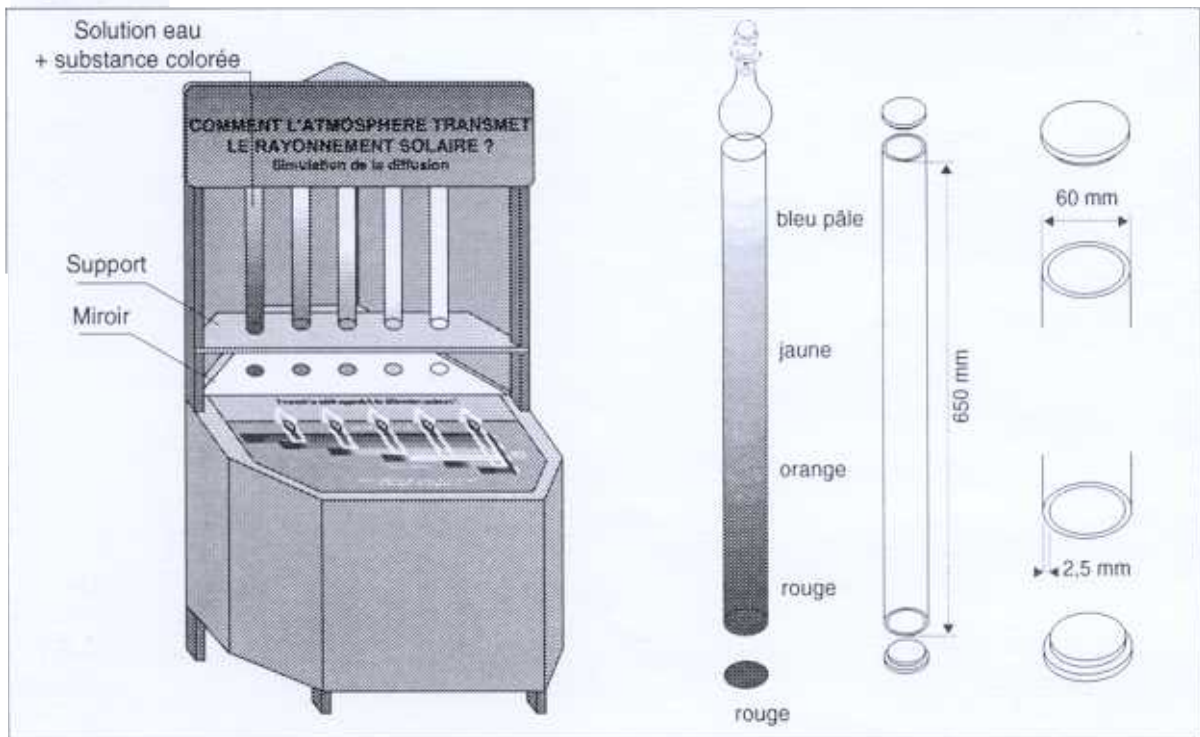
peinture acrylique. Pour éviter la surchauffe des fonds exposés aux lampes, des ventilateurs ont été disposés. Le public déclenche l'éclairage en appuyant sur des boutons. Il observe la couleur bleu pâle du premier tube et la couleur très blanche du fond inférieur sur le miroir correspondant placé au-dessous. La partie inférieure du second tube ainsi que le fond commencent à jaunir. Le troisième tube, quant à lui, vire à l'orangé, le quatrième au rouge et le dernier au rouge sombre. Les variations de couleurs en fonction des différentes concentrations d'éléments en suspension s'opèrent très rapidement.

Le dispositif électrique est simple : chaque bouton commande une temporisation qui allume les lampes pendant une durée que l'on peut modifier.

Le panneau inférieur montre la décomposition spectrale de la lumière et ce qui est transmis après diffusion.

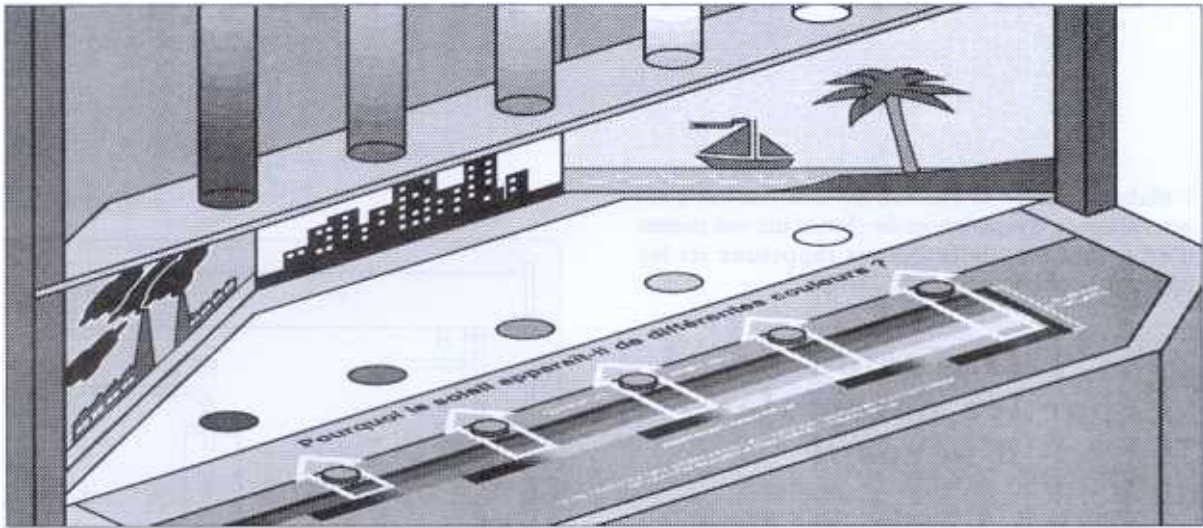
L'introduction d'un décor présentant plusieurs sites plus ou moins pollués oriente l'interprétation du visiteur.

Figure 14



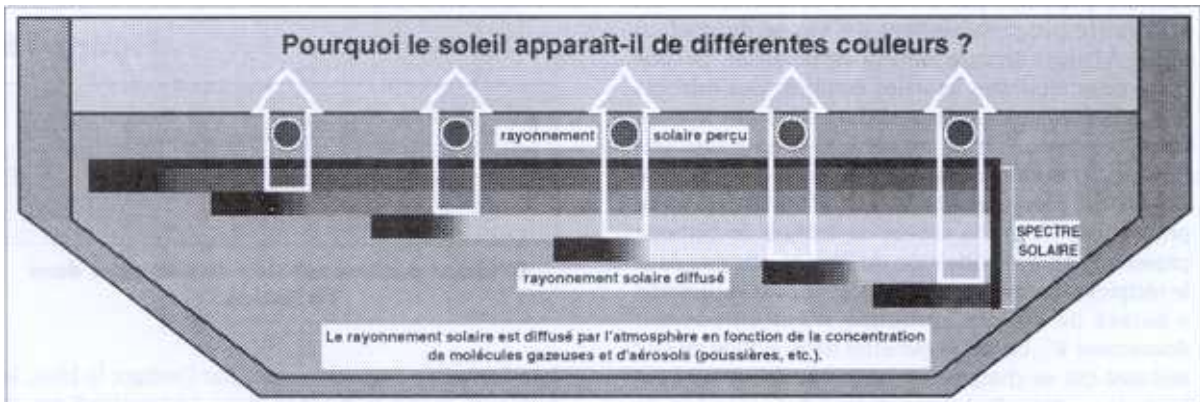
Vue générale de la manipulation et dimensionnement des tubes.

Figure 15



Décor de la manipulation.

Figure 16



Console de mise en fonctionnement.

3. Exploitation pédagogique

L'élaboration de la théorie de la diffusion s'est accompagnée d'expériences de chimie qui ont permis d'en cerner les limites. Nous rappelons ici les manipulations décrites par M. Françon¹.

150

Diffusion par les particules d'aérosol

Les particules de carbone et de soufre sont produits par la décomposition photochimique de la vapeur de sulfure de carbone en présence d'acide nitrique (fig. 17). En éclairant le tube de verre (longueur 1 m et diamètre 0,1 m) par le faisceau parallèle d'une lumière produite par un arc au carbone, on voit apparaître progressivement un nuage de couleur bleue. À l'angle droit, la lumière est polarisée. Le tube porte deux tubulures latérales équipées des robinets R et R'. Le réglage suit la procédure suivante : R' étant fermé, on ouvre R et R₁, on fait le vide en P avec une pompe. R₁ étant fermé, le manomètre M indique 76 cm de mercure. On ouvre alors R' et, avec précaution, R'. De la vapeur de sulfure de carbone provenant de la vaporisation du liquide contenu dans le récipient A pénètre dans le tube. Quand la pression a baissé de 7-8 cm, on ferme R', et en ouvrant doucement R'', on laisse pénétrer dans le tube de l'air ambiant qui se charge en vapeur d'acide nitrique par barbotage dans B. La pression est descendue de 30 cm, on ferme R'' et R'.

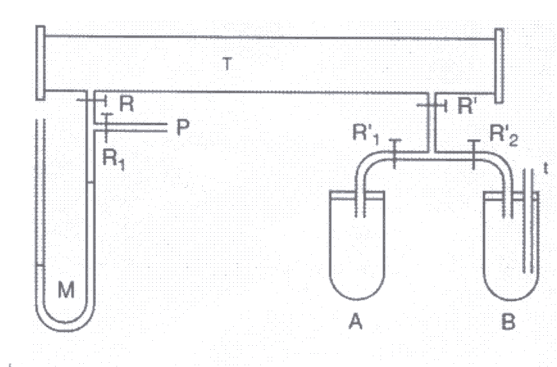
Diffusion par les particules d'hydrosol²

En versant de l'acide sulfurique dans une solution de thiosulfate de sodium, on forme un précipité de soufre dont les particules grossissent progressivement (fig. 18). Au début, leurs très petites dimensions satisfont les conditions de la diffusion de Rayleigh, la lumière blanche transmise devient jaune, orangé, rouge, puis elle disparaît. Après un laps de temps, la

1. Françon M., Krauzman N., Mathieu J. P. et May M. *Expériences d'optique physique*, Gordon et Breach, 1969.

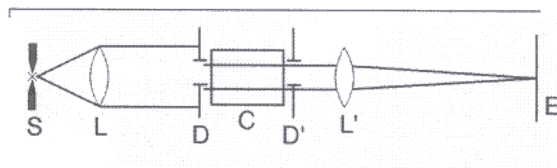
2. Particules d'hydrosol : particules en suspension dans un liquide.

Figure 17



Diffusion par les particules d'aérosol.

Figure 18



Diffusion par une solution de particules dans un liquide.

lumière passe successivement par l'indigo, le bleu, le bleu-vert, le vert-jaune et le blanc. La lumière S est un arc de carbone, le faisceau est rendu parallèle par des lentilles optiques L, la cuve de verre C de 5-10 cm de longueur possède une section de 4 cm². D et D' sont des diagrammes d'ouvertures circulaires, L' a une distance focale de 30 cm, E est un écran blanc. La solution contient N/4 de thiosulfate de sodium, dans laquelle on verse 1 cm³ de solution N/100 de H₂SO₄ et on agite le mélange. Le précipité de soufre se forme, on règle la rapidité d'évolution en utilisant plus ou moins d'acide sulfurique. Il faut rincer la cuve après chaque expérience.

Diffusion moléculaire

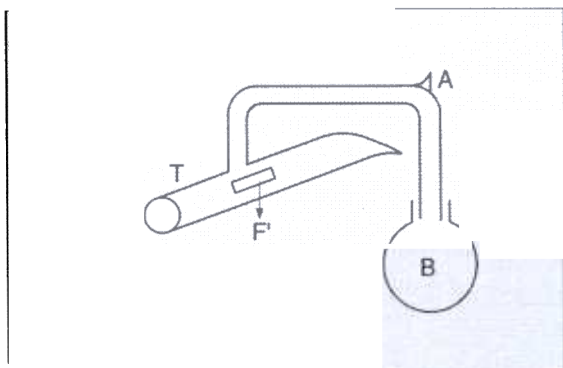
L'observation de la phase gazeuse exige de grandes précautions. L'appareil, fait de verre, est entièrement soudé (fig. 19), T est un tube cylindrique de 30 cm de long, d'un diamètre de 5 à 6 cm, fermé par une fenêtre plane F. Une tubulure latérale est reliée à un ballon de 1,5 litre. On introduit en B par une tubulure située

en A un litre de benzène très pur, (non fluorescent). On fait le vide. B étant plongé dans de la glace, on ferme A à la lampe. On distille ensuite le benzène en T en plongeant B dans de l'eau à 50 °C et T dans de la glace fondante. Le faisceau d'un arc au carbone passant par F se perd dans l'extrémité effilée. Le tube T étant noirci au vernis mat à l'exception de F' (fenêtre aménagée), la trace du faisceau apparaît nettement bleuâtre.

Remarques. Le bleu des montagnes : d'après la figure 20, le rayonnement venant de la montagne s'ajoute au rayonnement solaire diffusé par les molécules et particules d'aérosol (surtout les molécules de vapeur d'eau). La couleur bleue de ce rayonnement diffusé fait en sorte que les montagnes paraissent bleues. Et plus elles sont éloignées, plus cette couleur devient bleue. Les peintres utilisent cet

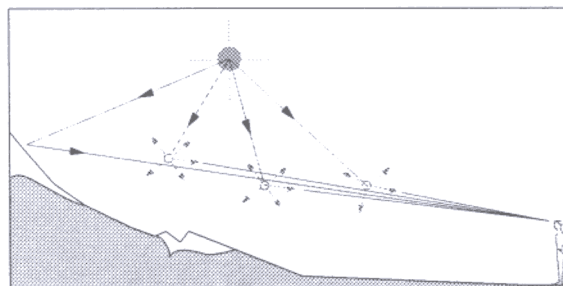
effet pour créer une profondeur dans leurs tableaux. Les réactions du public : on constate que les visiteurs éprouvent certaines difficultés à « manipuler », même si la manipulation est du type « presse-bouton ». Nous pensons que ces difficultés proviennent, entre autres, de l'habillage qui cache tout le dispositif et de l'absence de la consigne « appuyer sur le bouton ». À cet obstacle s'ajoute celui du prérequis de la décomposition spectrale de la lumière. Pour les personnes intéressées par la reproduction de ces manips, nous leur suggérons de garder le principe de la manip de l'Exploratorium, notamment pour expliquer la décomposition spectrale de la lumière. Néanmoins, il faut donner au public la possibilité de vérifier que si l'on change d'extrémité, on obtient le même phénomène, de même que si on éclaire le tube transversalement.

Figure 19



Appareil pour la diffusion moléculaire.

Figure 20



Pourquoi, par beau temps, les montagnes paraissent-elles bleues ?

Une lointaine montagne est vue à travers la lumière bleue dispersée par l'air le long de la ligne de visée.