

Tuesday, December 12, 2017

Définition de la netteté (Photographie) et Polarisation.

Lens effector est une création minimaliste aux lignes épurées qui explore l'espace (l'infini)

Les prototypes ont pour rôles de créer des effets Video + Photographie

Effets **kaleidoscopes** et **Anisotropes** selon la lentille.

L'anisotropie des propriétés optiques porte le nom de **biréfringence**.

Elle se manifeste notamment par le phénomène de double réfraction et trouve de nombreuses applications en optique.

Imagerie sensorielle partant du principe que la perception humaine de l'espace est notamment structurée par l'orientation, visant à entraîner la vision dans plusieurs directions , pour créer des yeux curieux capables de jouer un niveau psychédélique pour des expériences avec les lumières:

La technique appliquée résultant sur des projets divers comme la photographie argentique , instantanée , numérique et la chambre noire.

Les différentes formules qui suivent reposent sur des hypothèses bien définies mais parfois fort éloignées des situations pratiques, voire

impossibles à respecter.

Louis-Philippe Clerc (La Technique photographique, 2^e édition, 1934) disait :

On ne saurait trop insister sur le caractère arbitraire de tels calculs, basés sur la conception artificielle de rayons lumineux; cette conception, destinée à faciliter l'application à l'optique des règles de la géométrie, même dans certains cas où elles ne sont plus applicables, amène fréquemment à des conclusions en antagonisme avec les prévisions de l'optique physique, dûment vérifiées par l'expérience ; en particulier, dans le cas considéré, l'optique géométrique ne tient pas compte d'un facteur essentiel, la répartition de la lumière à l'intérieur des taches-images.

Ces calculs de la profondeur de champ peuvent être effectués par des logiciels facilement disponibles sur la toile.

L'**objectif** d'un appareil photographique est le **système optique** qui permet de former l'image d'une scène sur une surface

photosensible (**pellicule argentique** ou le **capteur électronique**)

Plus le plan objet est éloigné, plus l'image se forme près du **plan focal**.

Faire la **mise au point** consiste alors à placer le capteur photographique à la bonne distance du plan focal de l'objectif pour choisir le plan de la scène que l'on veut voir net.

Pour les autres plans, l'image se focalise en avant du capteur ou après le capteur : l'image récupérée par le capteur est en toute rigueur floue.

Cependant, l'œil (ou un autre système optique) acceptera une marge d'erreur qui permet de définir non plus un seul plan net mais un volume de netteté.

- La zone nette est moins importante devant le sujet que derrière lui.
- Pour un même cadrage sur un sujet donné, la profondeur de champ est à peu de chose près identique quelle que soit la distance.
- Le fait de se reculer
- (qui a pour conséquence d'augmenter la profondeur de champ) est

compensé par le fait de zoomer pour retrouver le même cadrage (qui diminue la profondeur de champ).

- Plus on ferme le diaphragme, plus la profondeur de champ est grande, mais plus la **diffraction** dégrade l'image.

La perception de la netteté d'une image est intimement liée au **pouvoir séparateur** de l'œil, autrement dit à l'**acuité visuelle**, ou éventuellement du système optique d'analyse.

ϵ' l'angle qui caractérise le **pouvoir séparateur** : il indique l'angle maximum qui sépare deux points qui ne peuvent pas être distingués. Cet angle est très faible : pour l'œil humain cette valeur d'une **minute d'arc**

Dans le cas d'une prise de vue rapprochée il n'est plus possible de négliger la distance focale devant la distance de mise au point.

En outre, le modèle de la lentille mince ne suffit plus pour modéliser l'objectif.

On peut le modéliser de façon bien plus précise par un **système centré** dont il est nécessaire de connaître le **grandissement pupillaire** g
 P

La profondeur de champ, dont les calculs sont détaillés en **annexe 2**, est plus simple à exprimer en fonction du grandissement.

Un **sténopé**, boîtier sans objectif mais pourvu d'un petit trou situé face à la surface sensible, permet de faire des photographies, pourvu que le sujet et l'appareil ne bougent pas (sauf si l'on souhaite un **flou cinématique**), car les temps de pose sont très longs.

La lumière qui traverse le trou en provenance d'un point lumineux vient former une tache sur la surface sensible.

Si le trou est trop gros, la tache est trop grande et l'image est floue ..

s'il est trop petit, le temps de pose devient prohibitif et la diffraction produit de gros dégâts.

L'image donnée par un sténopé n'est jamais nette, de sorte que la notion de profondeur de champ ne s'applique pas vraiment, ou alors avec une tolérance angulaire énorme par rapport aux usages classiques.

En revanche, le flou de l'image est homogène et donne alors l'impression, tant qu'il reste raisonnable, d'une profondeur de champ infinie.

Dans cet article nous avons considéré seulement les problèmes liés à l'intersection d'un cône de lumière par des plans qui ne passent pas par son sommet et nous avons délibérément mis de côté toutes les autres causes qui contribuent à la formation d'une image floue.

En pratique, les images seront toujours plus ou moins dégradées par un flou, par un objectif de mauvaise qualité ou endommagé, par la **diffraction** liée à un diaphragme trop fermé, par la granulation d'une pellicule ou la structure pixelisée d'un capteur, par un agrandissement défectueux, etc.

Sans entrer ici dans le détail, signalons simplement que ces pertes de netteté supplémentaires ajoutent leurs effets à ceux que nous avons étudiés et provoquent donc une diminution de la profondeur de champ apparente.

Il peut même arriver que l'image ne puisse plus être perçue nulle part comme nette et dans ce cas, la notion de profondeur de champ perd l'essentiel de son intérêt.

Par ailleurs lorsque l'on désire diminuer la profondeur de champ, par exemple dans le cas d'un portrait, il faut ouvrir le diaphragme en grand.

Les **aberrations** se manifestent davantage.

Il ne sert à rien qu'un objectif soit très lumineux, s'il n'est pas bon dès la pleine ouverture: le sujet perdrait en netteté à mesure que le fond deviendrait flou.

La remarque vaut aussi pour le reportage sportif ou la photographie où l'on cherche avant tout non pas à diminuer la profondeur de champ, mais à opérer avec une vitesse aussi grande que possible.

Pour un réglage et une utilisation donnés d'un appareil photographique, la

profondeur de champ correspond à la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver le sujet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une **image** que l'**œil** (ou un autre **système optique**) acceptera comme nette.

L'étendue de cette zone dépend de plusieurs paramètres de la prise de vue notamment de l'ouverture du **diaphragme**, de la distance de mise au point et des dimensions de la surface sensible –, mais aussi des conditions d'observation de l'image finale.

Dans la plupart des cas, la distance de mise au point est imposée par le sujet, la taille de la surface sensible par le matériel..

L'ouverture est le principal réglage qui permet de modifier la profondeur de champ.

La connaissance de la profondeur de champ est nécessaire à la maîtrise des prises de vues, en **photographie** comme en **cinéma** et en vidéo.

Son contrôle est indispensable pour mettre en valeur un sujet dans les techniques de portrait, de paysage et de **nature morte**.

Plus la profondeur de champ est étendue, plus elle intègre le sujet dans son environnement ; pour cela, il convient de fermer le diaphragme.

A contrario, plus elle est courte, plus elle l'isole.

il faut dans ce cas ouvrir le diaphragme.

Quand un **photographe** prend une photographie, il choisit souvent le cadrage en premier lieu.

- S'il dispose d'un **objectif** à focale fixe, il devra choisir le point de vue en conséquence, il n'aura pas le choix de la perspective.
- S'il dispose d'un objectif zoom, il choisira le point de vue (qui détermine la perspective) et réglera la **focale** en conséquence.

Le seul réglage sur lequel peut ensuite jouer le photographe pour contrôler la profondeur de champ est l'**ouverture** du diaphragme.

- Pour les grandes ouvertures – $f/1,4$, $f/2$ – la profondeur de champ est

faible, la zone de netteté sur l'image finale sera réduite. Ce type de réglage est adapté à la photographie de type portrait. Il permet de mettre en valeur le sujet en l'isolant du reste de la scène.

- Pour les petites ouvertures – f/16, f/22 – la profondeur de champ est grande, la zone de netteté sur l'image finale sera importante. Ce type de réglage est adapté à la photographie de type paysage. Il permet d'intégrer un sujet dans son environnement.

Si l'objectif dispose d'une échelle de profondeur de champ, comme illustré ci-contre, le photographe peut s'en servir pour prévoir la profondeur de champ : de part et d'autre du repère qui indique la distance de mise au point, des gravures symétriques portant des valeurs de diaphragme, 11, 16 et 22, indiquent les limites de la profondeur de champ.

Pour une ouverture réglée sur f/11, comme l'indique la bague de réglage de l'ouverture, le premier plan net sera situé à 1 m et le dernier plan net à 2 m.

Il est intéressant d'observer ensuite l'augmentation de la profondeur de champ lorsque l'ouverture diminue, jusqu'à f/22 pour cet objectif.

Lors du cadrage et de la visée, la mise au point s'effectue généralement avec le diaphragme ouvert au maximum pour avoir le plus de lumière possible.

Certains appareils possèdent un testeur de profondeur de champ qui permet de fermer manuellement le diaphragme à la valeur réglée pour vérifier l'étendue de la profondeur de champ.

La fermeture du diaphragme diminue la quantité de lumière qui parvient à la surface photosensible, qu'il s'agisse d'un **capteur électronique** ou d'une **pellicule argentique**.

Le photographe doit alors augmenter le **temps de pose** pour maintenir une **exposition lumineuse** correcte et ne pas obtenir une photographie sous-exposée. Le réglage du temps de pose peut être effectué automatiquement par l'appareil s'il est muni, en plus d'un réglage manuel, d'un réglage « priorité ouverture » noté « A » ou « Av »

Bien évidemment l'augmentation du temps de pose induit des risques de flous pour les sujets en mouvement.

Si le temps de pose ne peut pas trop être augmenté, il sera nécessaire d'augmenter la **sensibilité** de la surface photosensible.

Malheureusement, une augmentation importante de la sensibilité a pour conséquence la dégradation plus ou moins perceptible de la qualité de l'image (**bruit électronique** en numérique et grain en argentique)

Par ailleurs, si le photographe dispose de plusieurs appareils de formats différents, il pourra choisir celui qui est le plus adapté à son exigence.

En effet, plus la surface photosensible de l'appareil est grande, plus la profondeur de champ est réduite.

Le réglage de la mise au point est d'autant plus délicat.

- L'utilisation de petits capteurs peut se justifier dans le cas de la macrophotographie où un grand capteur n'arrivera pas à atteindre une profondeur de champ suffisante pour avoir l'entièreté du sujet nette. Elle se justifie également pour le reportage vidéo : grande profondeur de champ et donc mise au point plus simple, en plus d'une réduction de la taille des objectifs.
- Les grands capteurs, sont privilégiés pour la photographie de portrait mais aussi pour les captations cinéma.

Dans certaines circonstances, type reportage, il peut être intéressant pour le photographe de prérégler la mise au point pour pouvoir prendre la photographie plus rapidement. Si le photographe ne sait pas où va apparaître ce qu'il va prendre en photo, il a intérêt à disposer d'une profondeur de champ maximale.

Pour une ouverture, une focale et une surface photosensible données, la **distance hyperfocale** est la distance de mise au point qui permet d'obtenir la plus grande profondeur de champ : cette dernière s'étend alors de la moitié de la distance hyperfocale à l'infini.

Sur l'illustration faisant apparaître l'échelle de profondeur de champ, il est facile de constater qu'un réglage d'ouverture $f/22$ pour une mise au point sur une distance de 1,6 m permettrait d'obtenir une profondeur de champ allant de 0,8 m à l'infini.

La polarisation de la lumière découle de la théorie ondulatoire de la lumière.

Il en découle de nombreuses applications comme les verres polarisés qui

servent à filtrer la lumière, et visualiser certains films en 3D, etc. Certains insectes et animaux utilisent la polarisation lumineuse pour s'orienter.

La lumière polarisée semble également participer à la genèse d'un phénomène visuel entoptique appelé
« Brosse de Haidinger » (Haidinger's brush)

Un phénomène entoptique est induit par l'oeil lui-même comme les points noirs volants, qui sont liées à des corps flottants du vitré.

Il nous apprend que l'oeil humain est également sensible à la polarisation de la lumière, même si cette capacité ne fait pas l'objet d'une utilisation quelconque.

Sir David Brewster, physicien écossais, est crédité de la découverte du phénomène de polarisation lumineuse au début du 19e siècle.

C'est aussi plus d'un siècle après la mort de Newton, Etienne Louis Malus, officier sous Bonaparte, fait par hasard à son retour à Paris de la campagne d'Egypte une découverte liée à l'observation d'une réflexion de la lumière du soleil sur les vitres du palais du Luxembourg, vue au travers du cristal de Spath.

Il remarque qu'une des deux images disparaît pour une certaine orientation du cristal, tous les 90°.

Il comprend qu'il existe un lien entre la réflexion préalable de la lumière sur les vitres (réflexion vitreuse): la lumière du soleil, après réflexion sur le verre de la vitre, pouvait être dans une condition similaire à celle observée après traversée d'un premier cristal bi-réfringent.

Ce phénomène était lié au fait que la réflexion peut provoquer la polarisation de la lumière.

La nature même de la polarisation demeure encore inexpliquée.

Thomas Young va permettre d'éclaircir le mystère de la polarisation : il suggère dès 1816 que les vibrations de la lumière pourraient être dans un plan non pas exclusivement longitudinal avec celui de la propagation

(comme pour le son), mais au moins partiellement perpendiculaire (transverse) à celui-ci.

Ainsi, une structure cristalline particulière pourrait interférer avec les vibrations et en sélectionner certaines orientations, expliquant l'apparition d'images doubles et décalées selon certaines directions en regardant au travers de certains cristaux.

Cette théorie, qui met au premier plan le caractère ondulatoire de la lumière, suscite de vives oppositions.

James Clerk Maxwell, en établissant la théorie des ondes électromagnétiques, viendra conforter quarante ans plus tard cette théorie (1868).

La polarisation est une propriété qu'ont les **ondes** vectorielles (ondes qui peuvent osciller selon plus d'une orientation) de présenter une répartition privilégiée de l'orientation des vibrations qui les composent.

Les **ondes électromagnétiques**, telles que la **lumière**, ou les **ondes gravitationnelles** ont ainsi des propriétés de polarisation. Les ondes mécaniques transverses dans les solides peuvent aussi être polarisées.

Cependant, les ondes longitudinales (telles que les **ondes sonores**) ne sont pas concernées.

Dans une **onde électromagnétique**, le **champ électrique** et le **champ magnétique** oscillent simultanément dans des directions différentes.

Par convention, la polarisation de la lumière décrit la vibration du champ électrique.

Ce champ peut osciller dans une seule direction (polarisation rectiligne) ou peut tourner autour de l'axe de propagation de l'onde. On parle dans ce cas de **polarisation circulaire** ou elliptique.

Le sens de la rotation, droite ou gauche, est également un paramètre clé qu'il faut mettre en regard de la **biréfringence** et de l'**activité optique** des milieux traversés.

La polarisation des ondes joue un rôle important dans de nombreux domaines scientifiques tels que l'**optique**, la **séismologie**, l'étude des ondes **radiofréquences** et **micro-ondes**.

Les technologies concernées sont plus particulièrement les **lasers**, les télécommunications (**fibrées** ou non) et les **radars**.

Polarisation.

La lumière est une onde électromagnétique et correspond à la propagation simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique, dont les oscillations sont mutuellement perpendiculaires.

Les oscillations s'effectuent dans un plan perpendiculaire à celui de la direction de propagation.

Rappelons que dans le cas du son, les oscillations des molécules d'air sollicitées par les variations de pressions induites par l'onde sonore sont longitudinales, dans le sens de la propagation de l'onde.

La polarisation correspond à la direction qu'adoptent les oscillations du champ électrique au sein de ce plan perpendiculaire à la direction de propagation.

Si cette direction n'est plus aléatoire (changement constamment au fil d'intervalles de temps très brefs) mais s'effectue selon une direction privilégiée, alors la lumière est polarisée.

Si une seule direction d'oscillation subsiste, la polarisation est dite rectiligne.

Si la direction varie de manière continue en effectuant une boucle circulaire dans le sens horaire (ou antihoraire), l'onde est polarisée circulairement. Quand la direction et l'amplitude varient de manière continue, la polarisation est elliptique.

Onde polarisée linéairement

Onde polarisée circulairement

Onde polarisée elliptique

Dans tous les cas, une onde polarisée elliptique (ou circulaire) peut être appréhendée comme la somme de deux composantes qui correspondent chacune à une onde polarisée linéairement.

De plus, on montre réciproquement qu'une onde polarisée linéairement est la somme de deux perturbations optiques polarisées circulairement, mais avec une direction opposée (droite et gauche)

La lumière naturelle, dont la direction du champ électrique oscillant varie de manière aléatoire, peut à chaque instant être assimilée à la superposition de deux ondes orthogonales polarisées linéairement, mais de phase différente (on parle d'incohérence par opposition à la **cohérence lumineuse** que l'on observe avec la génération d'une lumière laser):

Ce déphasage varie constamment au fil du temps, et ceci explique justement les variations observées pour la direction du champ électrique.

Si l'on doit retenir une information à ce stade, c'est que quelle que soit la direction d'oscillation du champ électrique à un instant donné (sur une période brève), on peut toujours la décomposer en deux composantes orthogonales (ex : verticale et horizontale)

Cette conception vectorielle est pratique pour appréhender certains phénomènes naturels ou donnant lieu à des applications courantes.

Elle peut paraître relativement abstraite, mais elle trouve pourtant une correspondance en optique photonique avec les états de spins (moment angulaires) des photons : un faisceau de lumière polarisée circulairement à droite ne transporte que des photons de « spin droit »:

Un faisceau de lumière polarisée de manière linéaire transporte des photons dont la probabilité d'être en état de spin « droit » est égale à celle d'être en état de spin « gauche ».

Polariseurs..

La lumière des sources naturelles est non polarisée, mais certains phénomènes naturels peuvent induire une polarisation au moins partielle de la lumière: la diffusion de la lumière solaire dans l'atmosphère s'accompagne d'une polarisation partielle.

La mise au point de filtres polariseurs, capables de polariser la lumière remonte aux années 30.

Quand la polarisation est rectiligne (une seule direction), la composante vectorielle selon la direction perpendiculaire (toujours dans le plan d'oscillation) est nulle.

On peut imaginer (et obtenir en pratique) l'extinction totale de cette lumière polarisée en plaçant un second polariseur dont l'axe est perpendiculaire à cette direction.

C'est ainsi que « fonctionnent » les verres dits « polarisés » solaires, et ceux qui sont utilisés pour la visualisation de films en relief (3D).

Si l'on place des verres polarisés selon des axes différents devant l'oeil droit et l'oeil gauche, on peut leur faire voir des images différentes, en prenant garde bien sûr à aligner soigneusement la polarisation de ces images vis à vis de celle des polariseurs de l'oeil droit et gauche.

Rappelons encore que la lumière non polarisée est une lumière dont le champ électrique oscille sans direction privilégiée : elle est émise par des sources comme le soleil, les lampes, etc..

Les atomes de ces sources émettent des trains d'ondes successifs qui sont eux polarisés, mais sur des durées très brèves (de l'ordre de 10^{-8} secondes): de ce fait, l'orientation moyenne de la vibration du champ ne possède pas d'orientation privilégiée: la lumière naturelle peut toutefois être décomposée en deux composantes orthogonales polarisées linéairement (ex : verticale et horizontale), dont le déphasage varie au fil du temps.

Il est donc aisé de comprendre que de la lumière polarisée peut être obtenue à partir de la lumière non polarisée: la polarisation se produit quand certaines composantes sont absorbées, et il existe quatre phénomènes physiques à même de produire de la lumière polarisée à partir de la lumière non polarisée: le dichroïsme (absorption différentielle par un filtre), la diffusion (interaction de la lumière avec de fines particules), la réflexion (la lumière se réfléchit sur une surface et se polarise lors de la réflexion), et la biréfringence (le matériau possède des propriétés différentes selon la direction empruntée par la lumière, ex: le cristal de Spath)

La polarisation par réflexion justifie l'existence des verres filtrants dits polarisants.

En effet, la réflexion de la lumière non polarisée sur certains matériaux produit une polarisation de la lumière incidente.

Polarisation par réflexion.

Ce type de polarisation est engendré par la simple réflexion de la lumière sur une surface réfléchissante : verre, eau, neige...

Pour comprendre son mécanisme de manière intuitive, il faut revenir à des notions basiques concernant l'interaction entre une onde plane électrique et une molécule.

Ces notions permettent également de bien comprendre la polarisation par diffusion.

La vibration d'un atome, que l'on peut assimiler à un dipôle électrique (noyau : charge positive, électrons : charge négative) se fait dans la direction de vibration champ électrique, c'est-à-dire dans la direction perpendiculaire à la propagation de l'onde lumineuse (un peu à la manière d'un bouchon sur l'eau, qui monte et descend lors du passage d'une vague)

Le dipôle engendre une variation secondaire du champ électrique dans les directions les plus proches de celle de la propagation, mais pas dans sa direction de vibration.

La direction de vibration est perpendiculaire à la direction de propagation.

La lumière incidente non polarisée réfléchi par une surface comme un plan d'eau est non polarisée; elle peut donc être vue comme l'addition de deux composantes (verticale et horizontale) dont les amplitudes fluctuent constamment au fil du temps.

La direction empruntée par le rayon réfracté découle des lois de la réfraction (loi de Snell Descartes**)**

L'angle formé par le rayon réfléchi est égal à l'angle d'incidence.

Quand la direction de la lumière réfléchie par la surface est perpendiculaire à celle prise par le rayon réfracté, la composante verticale de l'onde réfléchie est éteinte, et seule la composante horizontale est réfléchie.

Ceci peut se déduire du fait que la direction de vibration des dipôles oscillants proches de la surface au point de réflexion est exactement perpendiculaire à la direction du rayon réfléchi.

L'angle pour lequel la composante verticale réfléchie est nulle est appelé angle de Brewster.

Sir David Brewster (1781-1868) est le premier physicien à avoir découvert le phénomène de polarisation, et l'inventeur du kaléidoscope.

Ainsi, en incidence dite de Brewster, la lumière réfléchie est complètement polarisée, la direction de polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence.

L'angle de Brewster dépend de l'indice de réfraction du matériau réfléchissant (n)

Dans l'air, la relation qui relie l'angle de Brewster IB à l'indice n est :
 $\text{Tangente}(IB) = n$

Pour une interface air/verre ($n=1,50$), $IB = 56,3^\circ$

Pour une interface air/eau ($n=1,33$), $IB = 53,1^\circ$

Les reflets de la lumière du soleil sur l'eau, la neige, sont (pour un angle d'incidence proche de l'angle de Brewster, soit 53° pour l'eau) sont polarisés parallèlement à la surface réfléchissante horizontale. Un polariseur dont la transmission est verticale (ex : lunettes de soleil avec des verres dits polarisants) présente l'intérêt de supprimer une grande partie de la lumière réfléchie.

La capacité à couper et/ou transmettre sélectivement certaines directions est propre à certains matériaux naturels ou artificiels ..

Ceux-ci présentent une propriété dite de dichroïsme, qui leur permet

d'absorber le champ d'induction électrique d'une onde lumineuse plus fortement dans certaines directions que dans d'autre.

Dichroïsme.

Certains matériaux naturels, dits anisotropes, permettent d'absorber une composante vectorielle du champ électrique E.

Par exemple, si le matériau possède une structure polymérique orientée selon une direction particulière, on peut stipuler que la direction des chaînes du polymère se comporte comme un fil électrique, qui dissipe la vibration du champ électrique de l'onde dans cette direction.

Les premiers films polaroïds, qui furent les premiers polarisateurs artificiels mis au point en 1938 par Edwin Land, qui fondera la compagnie Polaroid corporation à la même époque.

Plus connue du grand public pour ses appareils photos à développement instantané (dont la mise au point fut ultérieure, à l'après guerre), les produits conçus par la Polaroid corporation étaient des polariseurs qui équipèrent les viseurs d'armements et les lunettes protectrices des soldats américains : Land avait choisi d'utiliser de la quinine sous forme de cristaux d'iodosulfate de quinine, qui était munie de propriétés dichroïques, mais dont les difficultés d'approvisionnement le conduirent à en mettre au point la synthèse artificielle, ce qui constitua une avancée en pharmacologie Les films polaroïds étaient constitués d'un matériau sur lequel un film de polymères conducteurs étirés était déposé, orientés par étirage mécanique ou action d'un champ magnétique. 1

Quand une certaine épaisseur du matériau anisotrope est traversée par de la lumière non polarisée, il finit par éteindre, par effet Joule, la vibration du champ électrique quand elle s'effectue dans la direction propre à l'organisation anisotrope du matériau..

(le long des filaments – ceci survient de manière aléatoire)

Dans la direction opposée, il n'y a pas de possibilité de conduction, et la composante vectorielle du champ électrique est inchangée.

La direction d'oscillation rectiligne du champ électrique à la sortie d'un polariseur s'appelle la direction caractéristique du polariseur.

La représentation schématique d'un polariseur fait appel à une grille à interstices, qui reprend l'orientation des axes des filaments moléculaires de la substance dichroïque qui dissipent la composante du champ électrique qui leur est parallèle.

La lumière qui sort d'un tel polariseur n'est pas polarisée dans la direction des interstices mais perpendiculairement à ceux-ci.

On peut utiliser un polariseur linéaire pour déterminer la direction de polarisation d'une lumière incidente polarisée.

L'atténuation partielle de la vibration selon certaines directions résulte en une réduction globale de l'intensité lumineuse, qui va de pair avec la polarisation de la lumière.

Dans le cas d'un polariseur rectiligne recevant de la lumière non polarisée, l'atténuation théorique de l'intensité de la lumière incidente est égale à 50% (en pratique l'atténuation est plus élevée en raison notamment des phénomènes de réflexion sur le polariseur, etc.).

On comprend intuitivement que si une lumière déjà polarisée de manière rectiligne traverse un matériau muni de la propriété de dichroïsme, l'atténuation sera totale si l'orientation du « polaroid » est accomplie selon une direction particulière.

En faisant tourner le polaroid, si l'on observe une extinction totale de la lumière transmise, alors on peut en déduire que la lumière est polarisée de manière rectiligne, et que la direction de cette polarisation est perpendiculaire à la direction caractéristique du polariseur.

Si une lumière polarisée de manière rectiligne (par un premier polariseur) et d'intensité I_p traverse un second polariseur rectiligne (appelé analyseur), seule la composante vectorielle du champ électrique située dans l'axe du second polariseur le traverse: cette composante a pour norme $I_p \times \cos A$ où A est l'angle formé entre la direction d'oscillation

après traversée du premier polariseur et le second polariseur.

L'intensité résultante de la traversée du second polariseur est proportionnelle au carré de l'amplitude d'oscillation, donc $I_a = I_p \times (\cos A)^2$. Quand $A=90^\circ$, l'intensité transmise est nulle.

Les verres solaires polarisants agissent comme filtres qui coupent la lumière polarisée par réflexion (voir plus loin)

Polarisation par diffusion.

C'est un phénomène plus complexe, que l'on peut mettre en évidence en constatant que la lumière du ciel est partiellement polarisée ; au travers d'un polariseur orienté horizontalement, la lumière du ciel observée à 90° d'un soleil couchant est très atténuée : en effet, la lumière recueillie est alors polarisée préférentiellement dans une direction verticale.

La diffusion de la lumière soleil dans l'atmosphère dépourvue de nuages est liée à diffusion par les molécules d'air dont les dimensions sont largement inférieures à celles de la longueur d'onde de la lumière (les molécules sont au moins dix fois plus petites que la longueur d'onde lumineuse : ces conditions de la diffusion dite de Rayleigh).

La molécule se comporte comme un dipôle oscillant, qui vibre sous l'action (dans la direction) du champ électrique incident: elle transmet cette vibration dans toutes les directions, sauf celle située dans l'axe de la vibration du dipôle.

La diffusion se fait dans toutes les directions autour de la particule. L'intensité de la lumière diffusée dans les conditions de Rayleigh dépend de sa longueur d'onde: elle est d'autant plus importante que la longueur d'onde est courte (effet en λ^4).

Le bleu (430 nm) est 1,6 fois plus court que le rouge (700 nm): ainsi le bleu est diffusé plus de 7 fois plus que le rouge.

Cet éparpillement dans toutes les directions des courtes longueurs d'onde explique la couleur bleue du ciel.

Le ciel est bleu pour des raisons liées à la diffusion supérieure des radiations bleues. 2

Les nuages sont blancs car ils diffusent de manière équivalente les différentes longueurs d'onde:

Les gouttelettes d'eau qui les constituent ont une dimension bien supérieure à la longueur d'onde des radiations du spectre visible:

La diffusion se fait alors dans les conditions dites de Mie, c'est-à-dire non sensible à la longueur d'onde, et principalement vers l'avant, dans la direction de propagation initiale.

La couleur des nuages est composée d'une diffusion homogène des radiations colorées du spectre visible, et ces nuages sont donc blancs.

3

Au coucher du soleil, la lumière traverse une couche d'atmosphère plus épaisse, ce qui appauvrit encore plus en bleu la lumière parvenant à l'œil d'un observateur.

La lumière prend une teinte orangée, et les nuages adoptent également une teinte rougeâtre.

La polarisation liée à la diffusion peut se comprendre comme la conséquence de la vibration des nuages électroniques des atomes impliqués dans la diffusion.

L'onde plane sinusoïdale oscille à la fréquence et dans la direction de vibration du champ électrique incident.

L'atome ou la molécule se polarise et se comporte comme un dipôle

oscillant, qui va rayonner une puissance variable selon la direction:

Maximale dans la direction perpendiculaire au dipôle, elle est nulle dans l'axe de celui-ci: dans l'axe de la vibration.

L'utilisation de filtres polarisants en photographie repose sur le filtrage de certaines composantes de la lumière atmosphérique diffusée: ceci permet d'accentuer le contraste entre le ciel (assombri par coupure d'une composante polarisée) et les nuages.

L'orientation du filtre permet de moduler ce type d'effet, puisque la lumière du ciel est partiellement polarisée.

Brosse de Haidinger.

Ce phénomène entoptique (induit par l'oeil) est le seul phénomène visuel induit par la polarisation de la lumière in situ, cet à dire au niveau de la rétine.

Il a été découvert par un gemmologue Autrichien

Wilhelm K. von Haidinger's :1795-1871

Il est lié à une orientation particulière de certaines molécules (lutéine, pigment xanthophylle) qui est une substance dont les chaînes moléculaires possèdent des propriétés dichroïques.

Dans certaines conditions, qui requièrent la réception par l'oeil d'une lumière au moins partiellement polarisée, on peut apercevoir un motif très discret ressemblant à un sablier jaunâtre, dont l'orientation dépend de la direction de polarisation de l'onde lumineuse incidente: elle lui est perpendiculaire.

L'utilisation d'un écran LCD (par exemple, celui de l'ordinateur) est pratique car ce type d'écran: contenant une matrice de cristaux liquides, polarise la lumière, généralement dans une direction oblique. 4

Il faut, sinon, regarder le ciel, vers l'horizon, à 90° du soleil si possible, puisque nous avons vu que la lumière adoptait une direction de

polarisation partielle verticale.

Grâce à ce phénomène, on peut affirmer que l'oeil humain est sensible à la polarisation de la lumière.

Ces molécules doivent posséder une disposition orientée, au moins relative, pour créer une polarisation, et produire ainsi une variation spatiale de l'intensité lumineuse reçue.

Références:

Dr D Gatinel , ophtalmologue.

Houard S. Optique, une approche expérimentale et pratique. De Boeck, 2011 – Chapitre 9: Polarisation de la lumière.

Hecht E .Optics, Fourth Edition. Pearson new international edition. 2013 – Chapter 8 : Polarization

fusion (*n.*)

Aptitude du cerveau à réunir deux sensations visuelles en une perception visuelle unique.

Union de différentes choses en un seul corps ou groupe, ces choses croissant ensemble.