

26340

Bulletin
de
l'A.M.S.

Numéro 9
1er trimestre 1994

VIE DE LA COLLECTION

Depuis le dernier bulletin, l'enrichissement de la Collection a continué par quelques très belles acquisitions, en particulier.

- Un cristal de stolzite de Ste Lucie de Peyre, Lozère, cristal remarquable par ses dimensions (7 cm.) et se présentant en tablette quadratique parfaite, sans doute le meilleur exemplaire connu de cette espèce rare.
 - Un cristal d'axinite sur gangue en provenance de Puiva, Polar Oural, Russie. Dépassant 10 cm. avec des formes parfaites, cet échantillon est le meilleur spécimen de ce minéral dans notre collection.
- De couleur brune il correspond à la variété ferro-axinite.
- Toujours de Russie un cristal de sphalérite de la région de Dalnegorsk, Sibérie Orientale.
- Un groupe de cristaux à faciès hexagonal de cinabre du Guizhou, Chine.

TUSCON 1994

Assez décevant tant par les prix, que par les minéraux présentés, Tucson s'est toutefois soldé par une belle moisson, grâce aux liens tissés depuis plus de vingt ans, ce qui permet, malgré un marché agonisant d'acquérir cependant de bonnes pièces.

- Tout d'abord un gros cristal d'aigue-marine du Brésil offert par un très vieil ami : John B.J. Trelawney.
- Deux macles de ferberite de la région de Potosi en Bolivie.
- Un superbe groupe de cristaux de ludlamite, découverte récente dans la mine de Huanuni dans le même pays.
- Un superbe groupe de galène de Dalnegorsk qui, avec la sphalérite précédente constitue un bel exemple de cette paragenèse classique
- Un groupe de cristaux de hausmannite de N° Chwaning, Afrique du Sud. Unique par sa qualité, cette espèce est rare en beaux cristaux. Dépassant 10 cm. ce spécimen est équivalent sinon supérieur à celui du musée d'Edimbourg, provenant des mines de Thuringe.
- Du Pakistan, un groupe de cristaux de pollucite, unique par sa qualité, en petits, mais remarquables cristaux bien formés et brillants ce qui est rare pour cette espèce.
- Un énorme cristal de fluorite rose de 10 cm. totalement gemme, sans doute le meilleur connu, de ces pegmatites particulières.
- un groupe de cristaux d'olivine dont la localisation précise est encore vague.
- Enfin une opale de feu de la région de Zimapan au Mexique.

Depuis le 1er Mars nous présentons une exposition sur la mine du Boléo en Basse-Californie mexicaine. Gisement célèbre par ses cristaux de cumengéite et de boléite, mais aussi, bel exemple de la ténacité des mineurs français de la fin du 19 ème siècle. Exposition illustrée de nombreux documents et d'objets prêtés par les descendants de ces pionniers qui ont su réaliser dans une région difficile une entreprise remarquable.

Cette exposition se termine fin avril et sera suivie d'une autre : LES METEORITES qui nous l'espérons attirera un public nombreux.

1995 verra, nous l'espérons notre plus belle exposition, si tout se réalise comme prévu. L'Ecole des Mines d'Ekaterinbourg (Sverdlovsk) dans l'Oural nous propose d'exposer ses échantillons : émeraude de Takowaja, alexandrite, ouvarovite, démantoïde, topaze de Murzinka, etc.

MACROPHOTOGRAPHIE DES MINERAUX ET PHYSIOLOGIE DE LA VISION

Conférence de Serge Ratzel-Billard du 11 décembre 1993

Faire le compte-rendu d'un exposé - illustré d'une centaine de photographies - sans les présenter pourrait être considéré comme une provocation s'il n'y avait à cela un début de justification.

En effet l'écolier, avant d'atteindre l'enseignement supérieur ou technique, apprend à lire, à écrire, à compter : il n'apprend que rarement à voir et encore moins à regarder. Fort heureusement les membres de l'A.M.I.S. s'y sont exercés en pratiquant la photographie. Aussi ne seront-ils pas trop surpris par les constatations et les affirmations présentées ci-après.

De plus, insister sur les rapports - ou les oppositions - existant entre la physiologie, et même la psychophysiologie de la vision, et la photographie mérite une explication. Ceci, d'autant plus que l'utilisation de termes impropres - termes imposés par la tendance animiste déferlant sur les "médias" - ne fait qu'ajouter à la confusion.

Chacun d'entre nous a pu apprendre ainsi : qu'il arrive à l'anticyclone des Açores de bouder, que sa voiture est intelligente, que l'eau qu'il verse dans son verre a emprunté pendant des millénaires un chemin connu d'elle seule, que des oligo-éléments "vivent" encore dans les volcans d'Auvergne et évidemment que les célèbres enzymes sont toujours aussi glutons.

- Après cela plus personne ne s'étonnera de posséder dans son placard un "oeil photographique". C'est justement là que le bât blesse : car qu'il y a-t-il de commun entre un oeil et un appareil photographique ?

Il y a une analogie formelle : lentille, diaphragme, élément photosensible. Pour le reste on ne constate que des différences de tous ordres dont quelques unes peuvent être résumées dans le tableau comparatif ci-dessous. Ce tableau est divisé en trois parties ayant trait au temps, aux dimensions et à la maîtrise des paramètres. La sensibilité spectrale sera décrite en même temps que la vision des couleurs.

" Oeil"

Le temps qui passe

-Les deux groupes d'images élémentaires formées sur la rétine de chaque oeil le sont dans " le temps qui passe" et dans un ordre qui peut être modifié par l'observateur sans altérer l'image finale d'une manière significative.

Netteté angulaire : mobilité

-La vision a une dimension angulaire prépondérante, le champ de vision nette de l'oeil, quelques degrés, entraîne une mobilité permanente de l'axe de l'oeil : l'image finale est ainsi la somme des deux groupes d'images nettes élémentaires successives.

-Notons qu'en dehors du champ de vision nette le flou est nettement moins accentué que celui de l'image d'un objectif en dehors du plan de mise au point mais on y porte moins ou pas attention.

-En profondeur et en dehors du point de convergence des deux yeux l'image n'est plus nette, mais la forme des objets demeure.

-L'iris par sa contraction ou sa dilatation a pour but essentiel de réguler l'intensité des flux lumineux atteignant la rétine.

Maîtrise naturelle limitée

-La maîtrise de la vision par l'observateur est limitée à la direction moyenne et à la distance.

-L'observateur n'a pas conscience - et ne maîtrise donc pas - l'ouverture de son iris, ni par conséquent l'intensité du flux lumineux qui le traverse.

Il n'a pas conscience non plus des micro- mouvements angulaires de l'axe optique de son oeil, même lorsqu'il s'efforce de fixer son attention.

-Par contre l'observateur peut acquérir - par l'expérience et l'exercice - une double maîtrise :

-Composition et limites de l'image à enregistrer (cadrage).

-Observation de l'image en dehors du champ de vision nette : expérience de Mariotte ou de tout marin qui a un peu navigué la nuit.

Appareil Photographique

La durée

-L'image unique enregistrée sur la pellicule l'est dans un intervalle de temps borné, la durée de pose (improprement appelée temps de pose) dont la variation entraîne une modification d'un des paramètres réglant l'exposition, et parfois donc de la qualité de l'image finale.

Netteté linéaire : fixité

-L'image obtenue par un objectif présente une dimension linéaire prépondérante.

-La netteté est presque constante latéralement sur chaque plan perpendiculaire à l'axe de l'objectif.

-Dans les plans successifs s'éloignant du plan de mise au point la netteté diminue de manière continue au point de faire perdre totalement leur forme aux objets.

-Le diaphragme modifie l'intensité du flux lumineux traversant l'objectif mais afin essentiellement de régler la profondeur de champ de l'image.

Maîtrise Etendue

-La maîtrise de l'ensemble des paramètres de la prise de vue est pratiquement totale.

-En particulier le photographe maîtrise les dimensions de l'image enregistrée.

Avec tout ce qui précède - et tout ce qui va suivre - on pourrait de nouveau s'étonner d'arriver à prendre une photographie qui ressemble à l'original.

Ce serait oublier une différence fondamentale entre l'image enregistrée sur une pellicule photographique et les micro-images formées sur la rétine :

- La première est en quelque sorte définitive.
- Les secondes ne sont que les éléments d'une image à créer.

Cette création a pour point de départ l'ensemble des phénomènes photo-chimiques et des potentiels nerveux induits dans le réseau complexe des cellules rétinienne (cellules ganglionnaires, amacrines, bipolaires, horizontales et photoréceptrices) puis transmis au cerveau (corps genouillé, cortex visuel primaire) où elles sont analysées, comparées à la mémoire et enfin recomposées.

Chacun comprendra que le détail de ces opérations, malgré leur intérêt, sorte du cadre de cet exposé.

COULEURS

Parler des couleurs c'est faire le plus souvent référence au spectre lumineux obtenu à l'aide d'un prisme - plus couramment observé dans un arc-en-ciel - mais rarement, sinon pas du tout, aux sensations colorées partiellement représentées dans le diagramme de la CIE.

C'est pourtant confondre la sensibilité spectrale de l'oeil avec les sensations colorées provenant de la combinaison de plusieurs radiations du spectre lumineux. Ainsi la couleur pourpre (magenta, rose tyrien, violet-rouge etc..) - absente du spectre lumineux - provient-elle de la combinaison partielle des zones bleues et rouges de ce spectre.

Pour s'en convaincre il n'est que d'observer avec une loupe les "pixels" d'un écran de télévision : ils sont formés chacun de trois bandes de "phosphore" émettant, lorsqu'ils sont excités, des spectres bleu, vert et rouge. Si la bande verte n'est pas excitée l'apparence visuelle est un magenta. Si elles le sont toutes l'apparence visuelle est un blanc.

Il s'agit d'une synthèse additive. Les pigments des cellules rétinienne et les trois couches des pellicules photographiques sont respectivement sensibles à des spectres présentant un maximum dans le bleu, le vert, et le rouge.

Et le jaune ? Là encore l'observation des pixels d'un écran de télévision fera apparaître que le jaune est obtenu par la juxtaposition des bandes vertes et rouges, les bandes bleues restant sombres : le jaune est ainsi du vert plus du rouge (synthèse additive) ou du blanc moins du bleu (synthèse soustractive).

Tout cela serait facilement assimilable si le langage courant n'était à l'origine de la confusion de nos esprits et ceci depuis notre enfance. En effet l'écolier qui mélange mécaniquement de la gouache bleue plus de la gouache jaune obtient généralement une teinte verte : il pourrait avoir l'impression d'effectuer une synthèse additive. Mais si il mélange du jaune de chrome avec du bleu outremer il obtiendra un gris sinon un noir : c'est qu'en fait il effectue la synthèse soustractive de deux couleurs qui dans ce

cas sont pratiquement complémentaires. Cette synthèse est celle de trois couches colorées d'une photographie ou d'une image imprimée composées de colorants respectivement jaune, magenta et cyan.

Mais n'oublions pas que ce jaune n'est pas celui du spectre lumineux bien que ce dernier soit situé au maximum de sensibilité de l'oeil. Il y occupe une bande très étroite de l'énergie totale et ne contribue donc que très faiblement à la sensation colorée "jaune".

Si les beaux échantillons de soufre natif de la Collection ne réémettaient que le jaune du spectre ils apparaîtraient gris.

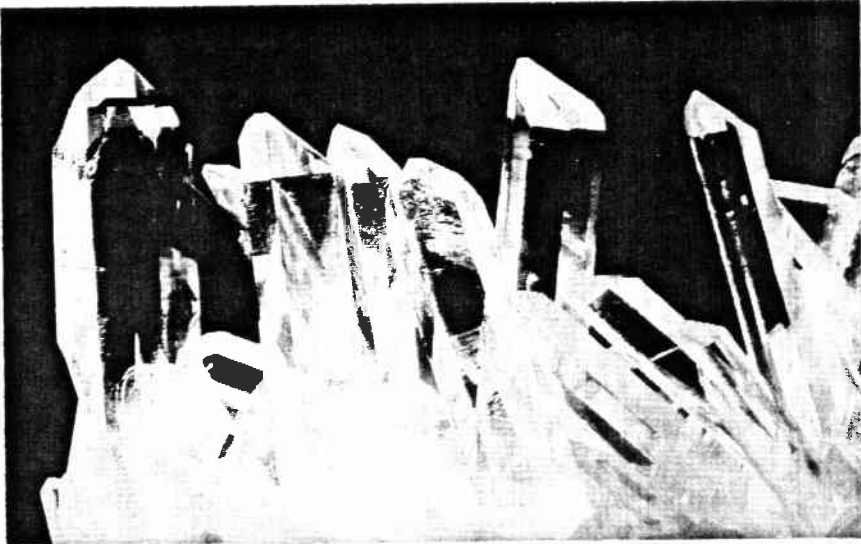
Spécificité de la macrophotographie de minéraux

Les courbes de sensibilité spectrale des pigments des cellules rétinienne sont proches mais pas identiques au "produit" sensibilité spectrale des émulsions X par la densité spectrale des colorants superposés.

Le rendu des couleurs peut donc être affecté, en particulier en macrophotographie de minéraux. En effet, il est souvent possible de comparer l'échantillon minéralogique avec la photographie : l'oeil est dans ce cas un instrument de discrimination bien plus efficace que le souvenir que nous avons de la couleur des objets.

D'autre part les minéraux constituent une classe d'objet à photographier très particulière qui accumule les difficultés sortant du cadre de la photographie traditionnelle :

-Cristaux transparents. Leur couleur est alors celle du fond, les réflexions et réfractions sur les faces des cristaux y ajoutant celles de la source lumineuse dont le réglage est très délicat. L'observation directe de l'échantillon présente plus de plages brillantes que la photographie en raison de notre vision binoculaire.



-Echantillon à reflets métalliques. Ce sont les sources lumineuses ou les images de l'environnement qui deviennent, en partie, le sujet réel de la photographie.

-Echantillon très coloré. Le rendu de couleur se situant toujours à l'intérieur du diagramme de la CIE, les absorptions parasites des colorants peuvent entraîner une désaturation des couleurs de l'échantillon ou les fausser si leur spectre étant étroit il ne s'accorde pas complètement à celui des émulsions.

-Echantillon blanc et/ou noir. La durée de pose est faussée. Les cellules fonctionnant en lumière réfléchie sont réglées pour donner une photographie correcte si la valeur moyenne des densités de l'objet photographié est celle d'un carton gris neutre à pouvoir réflecteur égal à 20%. La photographie sera surexposée de 1 à 2 diaphragmes si l'échantillon est noir, et sous-exposée d'autant si l'échantillon est blanc. L'exposition correcte sera obtenue en utilisant une cellule séparée fonctionnant en lumière incidente ou en remplaçant l'objet, pour la mesure, par un carton gris neutre.

-Le seul, mais grand avantage pour le photographe des échantillons minéralogiques est leur immobilité, permettant un réglage fin des éclairages et des durées de pose compatibles avec les ouvertures relatives de diaphragme les plus petites.

Variations Physiologiques

La sensation colorée ne dépend pas seulement du spectre de réflexion ou de transmission de l'objet examiné mais également de son niveau d'éclairage, des dimensions de la zone observée, de la qualité de ses bords, du champ environnant :

-Le niveau d'éclairage augmentant la sensation générale colorée de la source lumineuse jouera aux extrêmes du bleu au jaune.

-Les dimensions de la zone colorée augmentant la saturation apparente de la zone augmente parallèlement.

Remarquons qu'une fois de plus la macrophotographie de minéraux est placée dans un état particulier. Contrairement à la photographie courante où l'image est nettement plus petite que l'objet photographié l'image en macrophotographie est au moins du même ordre de grandeur. Cela signifie dans le premier cas que l'impression colorée apparaîtra moins saturée que l'original alors que dans le second cas elle apparaîtra au moins aussi saturée que l'original : c'est-à-dire plus fidèle.

-La surface colorée limitée par un bord net apparaît plus saturée que la même surface limitée par un bord dégradé.

-La sensation colorée de la même zone posée sur des fonds colorés différents est modifiée.

-Ces remarques ont plus d'un siècle, Chevreul ayant déjà étudié le contraste simultané des couleurs en donnant une explication satisfaisante de la célèbre partie de dés des princes à la veille de la Saint Barthélémy.

Distorsion de la perception des formes

Il semble se confirmer que formes et couleurs sont analysées par le cerveau par des voies différentes.

Ombres, lumières, distinctions des volumes, continuité des lignes, perception des dimensions sont l'objet de distorsions elles aussi connues depuis longtemps : de l'anneau de Montaigne aux illusions de Zoellner à la fin du siècle dernier la plupart des distorsions avaient déjà été constatées.

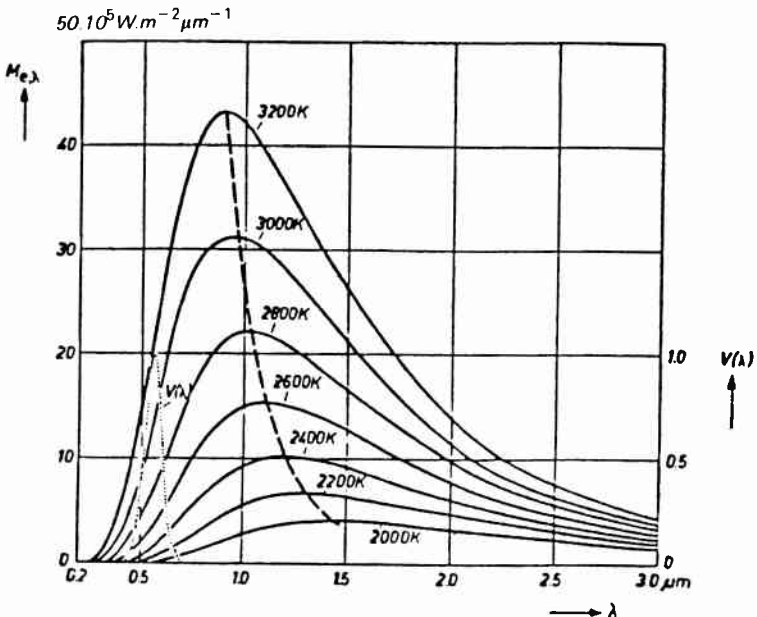
Sources Lumineuses

Parmi les sources lumineuses utilisables en macrophotographie de minéraux nous ne parlerons ni de lumière naturelle ni de flash : leur spectre d'émission est très proche de celui des émulsions mais le photographe peut difficilement maîtriser la répartition des reflets sur son échantillon.

Par contre les spectres d'émission des ampoules à filament de tungstène et ceux des tubes fluorescents peuvent être à l'origine de dominantes colorées.

Ampoules à filament de tungstène

Le spectre d'émission d'une telle source correspond - à l'intensité près - à celui d'un corps noir porté à la même température. Ce spectre est continu. La répartition spectrale est donnée par la formule de Planck, en fonction de la température absolue.



C'est sur cette base qu'ont été mises au point les sensibilités spectrales des émulsions photographiques :

3200°K pour les films dits "Tungstène".

5500°K pour les films dits "Lumière du jour".

Des filtres colorés permettent de ramener la température de couleur des sources les plus courantes à celles des films ci-dessus.

Il existe cependant des ampoules "tungstènes" dont le spectre continu a été modifié par l'adjonction dans le verre de terres rares. Par exemple avec un verre au néodyme la zone rouge du spectre est favorisée au dépend de la zone verte : le résultat photographique est aussi faussé.

Cela ne signifie pas que l'emploi d'un tel type de source doit être éliminé, il peut éventuellement magnifier un rendu de couleur.

Tubes fluorescents

La lumière émise par ces tubes est principalement produite par la photoluminescence de poudres provoquées par le rayonnement ultra violet provenant de la décharge électrique dans la vapeur de mercure à basse pression.

Le spectre lumineux propre à cette décharge n'est composé que de quelques bandes étroites concentrées dans ses parties ultra-violette bleue et verte. Si la pression augmente un fond continu apparaît mais les bandes caractéristiques demeurent et dominent l'ensemble.

Dans le cas des tubes fluorescents le choix des mélanges de poudres permet d'obtenir un fond continu dominant auquel se superposent toujours quelques bandes étroites caractéristiques : l'ultraviolet résiduel d'origine est filtré par la paroi.

Ceci a permis d'attribuer à la lumière émise par ces tubes une température de couleur, au moins visuelle, affectée d'un indice de rendu des couleurs acceptable. Il n'en sera pas forcément de même en photographie mais la remarque faite plus haut pour certaines lampes tungstènes demeure valable, pour autant que le rendu des blancs et des gris soit respecté.

Blancs et Gris neutres

Nous retrouvons ici à nouveau une différence capitale entre vision et photographie. On peut dire, en général, l'oeil voit du blanc et du gris neutre dans n'importe quelle circonstances alors que les émulsions photographiques ne les enregistrent que dans des conditions très précises.

Pour peu que le spectre d'une source lumineuse présente un fond continu - dominant ou pas - une feuille blanche, avec ou sans azurant optique, et un gris neutre le resteront pour l'observateur quelle que soit la température de couleur de la source. Ceci à la seule condition que l'observateur ne puisse pas effectuer de comparaison simultanée avec une source différente.

La même feuille blanche et le même gris neutre présenteront, et dans les mêmes conditions en photographie, des dominantes inacceptables pour l'observateur précédent.

-Nous ne pouvons cependant que nous réjouir de cette incapacité fondamentale de la perception visuelle-.

En effet dans le cas contraire, nous ne pourrions pas assister à une projection de diapositives ni admirer les échantillons de la Collection sans être choqué par la couleur jaune orangée de tout ce qui est blanc, lorsque la température de couleur de la lumière utilisée est de 2700°K par exemple.

Perception des détails

Lors des exposés on utilise le plus souvent un rétroprojecteur et un projecteur de diapositives :

-Le rétroprojecteur sert à présenter des graphiques accompagnés de textes.

-Le projecteur de diapositives sert à présenter généralement des images.

-Les spectateurs sont situés à une distance des écrans variant en moyenne de 4 à 15 mètres.

Il arrive au conférencier scrupuleux de demander aux spectateurs situés au fond de la salle si ils "voient" sur l'écran le graphique projeté. Que les spectateurs soient attentifs c'est sûr : ils regardent. Peuvent-ils lire les textes? C'est moins sûr.

Texte et graphique

En raison de la structure discontinue de la rétine on ne peut pas distinguer deux points s'ils sont vus ensemble sous un angle inférieur à une minute d'arc soit 3.10^{-4} radian. Nous supposons de plus que les points sont noirs sur fond blanc c'est-à-dire que le rapport de luminance est suffisamment grand : le pouvoir séparateur de l'oeil est plus faible lorsqu'il s'agit de couleurs.

Notons qu'un graphique projeté est pratiquement toujours vu; le simple quadrillage d'une feuille de bloc-note est encore visible à trois mètres alors que l'angle sous lequel on observe les traits est très inférieur à la minute d'arc, l'image se formant sur une bande de cellules uniques.

Les spectateurs de la salle sont divisés en deux classes, ceux qui voient les graphiques sans voir les légendes ou les textes et ceux qui voient les deux : où est la limite ?

C'est le tableau d'ophtalmologie - que tout le monde connaît - qui apporte la réponse. Il est constitué d'un ensemble de lettres bâtons de dimensions variables mais dont le rapport hauteur de la lettre sur épaisseur du trait est de l'ordre de 5.

Un observateur est réputé avoir 10/10 d'un oeil si il peut reconnaître , à 5 mètres généralement, les lettres les plus petites lorsqu'il voit l'épaisseur de leur trait sous un angle d'1' arc c'est à dire la lettre sous angle de 5' arc.

Si par exemple il ne reconnaît que les lettres dont le trait est de 2' arc sa vue est de $10/10 : 2 = 5/10$

Afin de ne pas obliger le spectateur à faire un effort inutile d'attention et de reconnaissance il est nécessaire que l'angle sous lequel on voit les lettres soit plus grand : 5.10^{-3} radian, au minimum, semble un bon compromis tenant compte d'une vue de 3/10 et d'un rapport de luminance

sur l'écran, indéterminé.

$$VVE : 10/10 = 1' \text{ arc} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ radian}$$

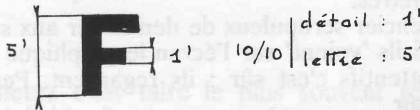
$$7/10 = 1,4' \quad 5/10 = 2' \quad 1/10 = 10'$$

$$3 \cdot 10^{-4} \text{ radian} = 1/10 \text{ mm} \text{ à } 33 \text{ cm}$$

$$0,3 \text{ mm} \text{ à } 1 \text{ m}$$

$$3 \text{ mm} \text{ à } 10 \text{ m}$$

LECTURE



$$3/10$$

$$\text{lettre} : 5 \cdot 10^{-3} \text{ radian}$$

$$5 \cdot 10^{-3} \text{ rad.} = 1,6 \text{ mm} \text{ à } 33 \text{ cm} \text{ ou corps 8}$$

$$5 \text{ mm} \text{ à } 1 \text{ m}$$

$$5 \text{ cm} \text{ à } 10 \text{ m}$$

L'expérience montre enfin que le type de lettre employée est un élément secondaire pourvu que leur "oeil" soit de même dimension.

Image

Les spectateurs de la salle ne sont plus divisés en deux classes mais en de très nombreuses car à des distances différentes ils ne peuvent voir que des images différentes.

C'est une illustration de la dimension angulaire de la perception visuelle.

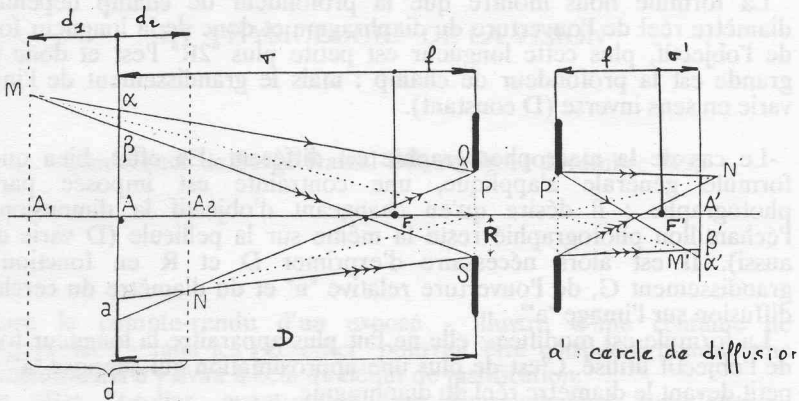
En admettant même qu'ils possèdent tous le même pouvoir séparateur, à 4 mètres ils distingueront sur l'écran des détails séparés de 1,2 millimètre alors qu'à 15 mètres il en faudrait 4,5 : tout ce qui est inférieur sera invisible.

Profondeur de Champ

C'est le souci majeur du photographe d'échantillon minéralogique. Il peut choisir les sources lumineuses, leurs dispositions, l'angle de prise de vue, les types d'objectifs mais il ne maîtrisera la profondeur de champ que par la variation de leurs ouvertures relatives.

L'optique géométrique nous en a fourni la raison. Nous supposons que les principales aberrations ont été corrigées, non par naveté, mais pour rendre les calculs plus simples.

Si R est le rayon de la pupille d'entrée de l'objectif, D la distance entre la pupille d'entrée et le plan de mise au point, et " a " le diamètre de la tache sur le plan de mise au point de "points" situés en dehors de ce plan, nous obtenons facilement une formule donnant le profondeur de champ totale " d " somme des profondeurs de champ situées en avant, et en arrière de ce plan.



$$d = \frac{\sqrt{\frac{d_1}{aD}}}{2R - a} + \frac{\sqrt{\frac{d_2}{aD}}}{2R + a}$$

Distance Hyperfocale : $d_1 : \infty$ $n = \frac{f}{2R}$

$$D = \frac{f^2}{n a'} + f \quad d_2 = \frac{D}{2} = \text{netteté minimale}$$

$$f = 50 \text{ mm} \quad n : 22 \quad a' : \frac{1}{10} \text{ mm} \quad D = 1 \text{ m} \quad d_2 = 0,5 \text{ m.}$$

$$f = 50 \text{ mm} \quad n : 22 \quad a' : \frac{1}{30} \text{ mm} \quad D = 3 \text{ m} \quad d_2 = 1,5 \text{ m.}$$

Macrophoto.

G : Grandissement

$$d = 2n \left(\frac{1+G}{G^2} \right) a' \quad \text{si } a' \ll 2R$$

$a' = \frac{1}{30} \text{ mm}$	$n = 3,5$	$n = 22$
$G = 1$	$d = 0,46 \text{ mm}$	$d = 2,9 \text{ mm}$
$G = 10$	$d = 0,03 \text{ mm}$	$d = 0,15 \text{ mm}$

Remarquons que la profondeur de champ en arrière de plan de mise au point est toujours plus grande qu'en avant de ce plan, mais qu'en macrophotographie "a" devenant négligeable devant "2R" elles sont pratiquement égales.

Si on admet que la pupille d'entrée est proche du plan principal objet et égale à l'ouverture réelle du diaphragme on obtient facilement la distance hyper focale, distance au delà de laquelle tous les objets seront "nets", pour un cercle de diffusion de diamètre donné ($2R = a$).

La formule nous montre que la profondeur de champ dépend du diamètre réel de l'ouverture du diaphragme et donc de la longueur focale de l'objectif, plus cette longueur est petite plus "2R" l'est et donc plus grande est la profondeur de champ : mais le grandissement de l'image varie en sens inverse (D constant).

-Le cas de la macrophotographie est différent. En effet, bien que la formule générale s'applique, une contrainte est imposée par le photographe : il désire qu'en changeant d'objectif la dimension de l'échantillon photographié reste la même sur la pellicule (D varie donc aussi). Il est alors nécessaire d'exprimer D et R en fonction du grandissement G, de l'ouverture relative "n" et du diamètre du cercle de diffusion sur l'image "a".

La formule est modifiée : elle ne fait plus apparaître la longueur focale de l'objectif utilisé. C'est de plus une approximation qui suppose "a" très petit devant le diamètre réel du diaphragme.

Le petit tableau montre que toute manière cette profondeur de champ est très faible : elle dépend de "a".

-Mais à quoi sert-il de fixer la valeur de "a" ?

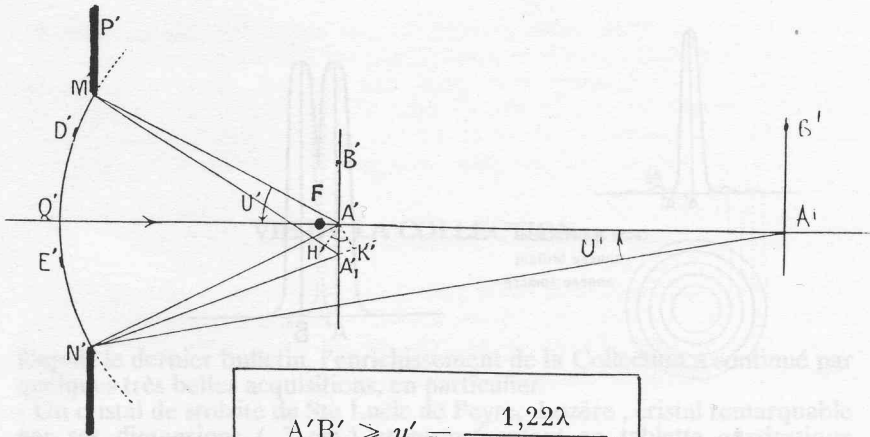
Seulement à se faire une idée de la profondeur de champ. En effet à mesure que des "points" de l'objet s'éloignent du plan de mise au point nous observons sur ce dernier des diamètres de cercle de diffusion de plus en plus grand: ils y seront tous des plus petits aux plus grands.

A grandissement constant nous avons donc intérêt à diaphragmer "au maximum" pour diminuer tous les diamètres des cercles de diffusion et ainsi accroître le netteté générale de l'image.

C'est alors qu'apparaît un faux problème : la diffraction.

Tache de diffraction

Compte tenu de la nature ondulatoire de la lumière, l'image d'un point d'un système optique -même stigmatique pour ce point et son image - est une tache dont le diamètre, avant le deuxième anneau brillant, est donné par une formule simple.



$$A'B' \geq y' = \frac{1,22\lambda}{2N' \cdot \sin U'}$$

$$y' = 0,6 n$$

$$y' = 0,6 n (1 + G)$$

n : ouverture relative

G : grandissement

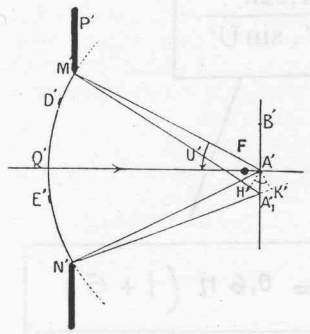
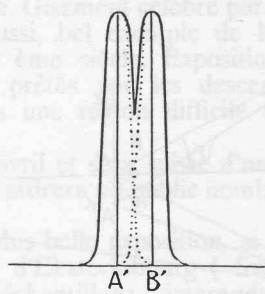
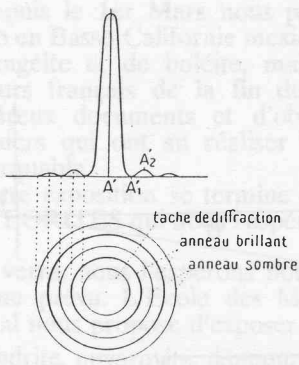
$$\text{Si } n = 22 \quad G = 8$$

$$y' = 13 \text{ microns}$$

$$y' = 105 \text{ microns}$$

Notons que l'intensité du premier anneau brillant est très faible et pratiquement sans influence sur la netteté de la photographie.

C'est la proximité de deux taches de diffraction qui peuvent provoquer une diminution de la netteté de l'image. On considère ainsi que deux taches ne sont plus séparables sur la photographie si la distance de leurs centres est égale à leur diamètre : la formule précédente reste donc valable.



$$A'B' > y' = \frac{1,22\lambda}{2N' \cdot \sin U'}$$

- λ : longueur d'onde 0,4 à 0,7 μ
- N' : indice de refraction . 1
- U' : demi-angle de la pupille de sortie
- $\sin U' \sim \text{tang. } U'$

Appliquée en macrophotographie il y a lieu de tenir compte du fait que le plan de l'image nette est très en retrait par rapport au plan focal image et fait donc intervenir le grandissement. La tache de diffraction peut ainsi atteindre une centaine de microns : la perte de définition est-elle visible ?

Pour le mettre en évidence il faut pouvoir comparer deux photographies différentes l'une de l'autre par la seule ouverture de l'objectif : par exemple les photographies d'un timbre avec un fort grandissement -huit- et deux ouvertures f/3,5 et f/22.

En examinant simultanément à l'aide de deux projecteurs identiques les deux diapositives obtenues on n'observe pas de différence.

C'est qu'en réalité les deux diapositives obtenues ne font pas intervenir que la diffraction. La plupart des aberrations affectant les objectifs sont d'autant plus grandes que l'ouverture relative l'est ce qui est l'inverse dans le cas de la diffraction.

Cette dernière, bien réelle, est en fait masquée.

Elle est même doublement masquée car pour observer les photographies nous faisons généralement intervenir une opération supplémentaire, le tirage ou la projection, obtenue à l'aide d'un objectif dont nous ne sommes pas en mesure de déterminer la qualité.

Nous serons donc amenés en macrophotographie à privilégier la profondeur de champ dont on voit le résultat sur l'image au dépend de la diffraction qu'on n'y distingue pas.

D'autres sujets n'ont pas pu être abordés faute de temps et de matériel, malgré l'intérêt qu'y portent de nombreux membres de l'A.M.I.S. en particulier la photographie en lumière polarisée et la photo en relief.

A.M.I.S

**Association des Amis
de la Collection de Minéraux de la Sorbonne**

Tour 25 - Rez-de-Chaussée

**4, place Jussieu
75252 PARIS Cedex 05**