

Optique en classe de 4^e

Fabrication d'une source lumineuse et expériences.

INTRODUCTION.

Le programme de 4^{me} consacre une partie importante à l'introduction de quelques phénomènes simples mais fondamentaux d'optique. Le problème immédiat qui se pose pour faire des manipulations valables en optique est évidemment celui de la source lumineuse. Dans ce qui suit, nous proposons tout d'abord, pour les « bricoleurs », la confection d'une source lumineuse à usages multiples, ensuite quelques expériences réalisables avec cette source et du matériel simple.

FABRICATION D'UNE SOURCE LUMINEUSE

Il s'agit d'une source utilisable par chaque groupe d'élèves, si on dispose de plusieurs transformateurs 220 V-24 V (une source par transformateur). Cette source pourra servir à de très nombreuses expériences, dont celles concernant les couleurs. Cette source permettra d'obtenir soit un, soit deux, soit trois faisceaux de lumière en utilisant le vieux principe des miroirs. Bien entendu, il ne s'agit pas d'une nouveauté à proprement parler, mais avant tout nous nous proposons de souligner les principales difficultés de mises au point rencontrées.

Le modèle que nous présentons est le plus compliqué réalisable, car il a été fait en bois ; il est évident qu'il peut être parfaitement simplifié et nous donnerons ci-après les indications pour ce faire.

I. DESCRIPTION DU MODELE PRESENTE.

Le modèle réalisé en bois est présenté fig. 1 en perspective cavalière, fig. 2 en vue de dessus. Nous avons :

- 1 : Trois ouvertures circulaires de diamètre 20 mm.
- 2 : Une lampe 24 V, 15 W, culot B 22.
- 3 : Une douille B 22, fixée avec vis sur le fond du boîtier.
- 4 : Deux fiches femelles fixées par vis sur le dessus de la boîte.

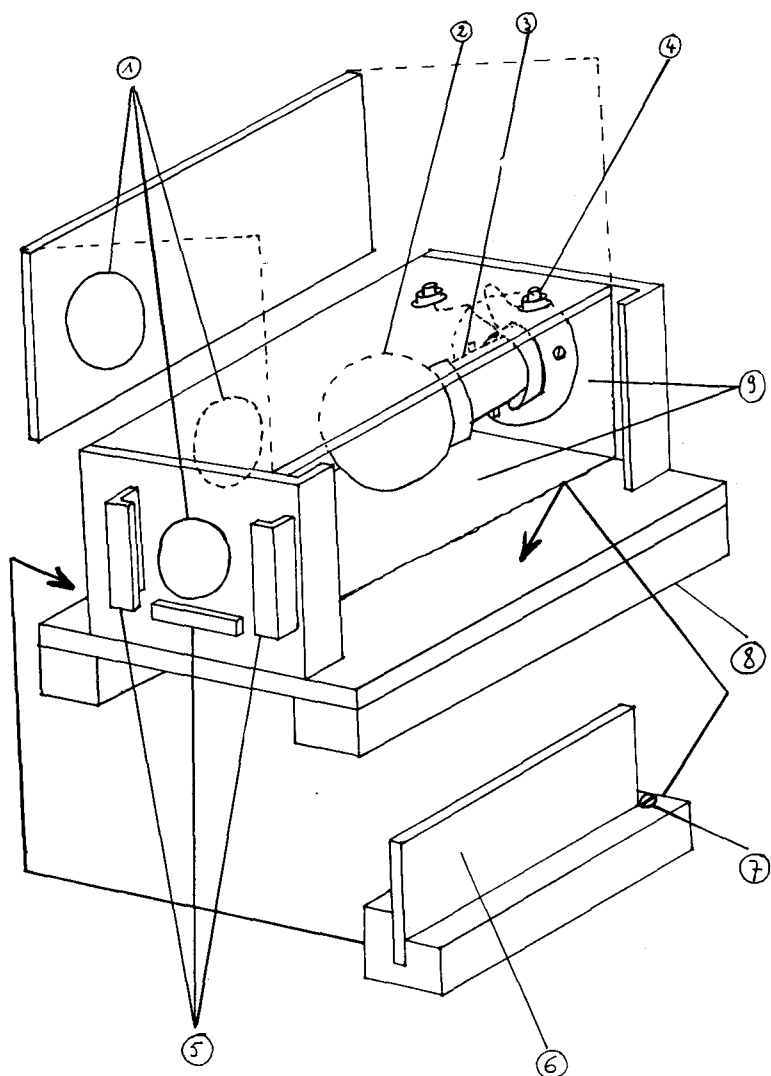


Fig. 1

5 : Glissières et arrêts pour caches diapositives. Ce système est à reporter devant chacune des ouvertures (voir remarques).

- 6 : Deux miroirs 90×55 mm (achetés au supermarché).
- 7 : Deux vis (voir remarques).
- 8 : Socle.
- 9 : Papier d'aluminium collé.

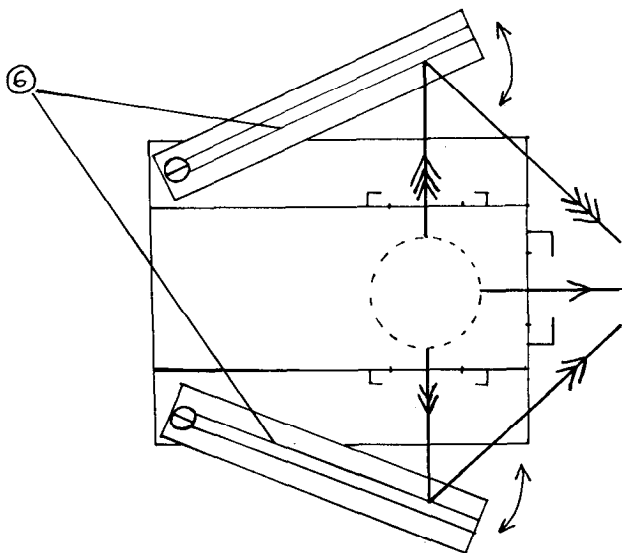


Fig. 2

Le bois utilisé est du contreplaqué ou du balsa. Nous ne pouvons donner que des dimensions approximatives car elles dépendent de la hauteur de la douille (3). Les douilles que nous avons achetées avaient 35 mm environ de hauteur ; dans ces conditions, le socle fait environ 150×150 mm, la partie contenant l'ampoule et les ouvertures $150 \times 90 \times 90$ mm. Les ouvertures ont un diamètre de 20 mm et sont centrées à 45 mm des bords les plus proches. Hauteur des piliers du socle : 40 mm. Support des miroirs : 110×20 mm. Nous avons prévu la possibilité de rechange de la lampe, d'où la présence d'un côté amovible coulissant.

Le problème important est le suivant : il est absolument nécessaire que le filament de la lampe soit à peu près centré et à peu près vertical vu à travers chacune des ouvertures (fig. 3). Pour cela, il faut positionner la douille et la lampe *après* avoir assemblé les différentes parties de la boîte ; ces parties sont soit clouées, soit collées entre elles. Enfin, on pourra peindre l'ensemble de la boîte en noir.

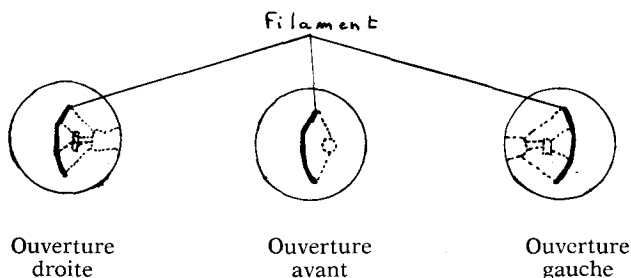


Fig. 3

II. REMARQUES.

— La nécessité d'opérer pour les élèves avec 24 V maximum nous a amené à essayer différentes lampes de 15 W, 25 W, 40 W. Désirant éviter de percer des trous pour le refroidissement afin d'empêcher la lumière parasite, un bon compromis nous semble obtenu avec une lampe de 15 W ; la boîte ne chauffe pas trop et la luminosité sera rendue meilleure en tapissant les différents côtés intérieurs de la boîte avec du papier aluminium collé, face brillante du côté de la lampe.

— Autour de chaque ouverture doivent être fixés des glissières et arrêts (5). Ces éléments peuvent être réalisés très facilement avec de la petite baguette ou du bois genre boîte de cigares, simplement collé. Les caches diapositives que nous utilisons sont en plastique de dimensions standard $50 \times 50 \times 3$ mm. Pour l'ouverture de devant, prévoir l'insertion de deux caches, donc une épaisseur de 6 mm.

— Les vis (7) permettent d'articuler les deux miroirs et d'obtenir à volonté différentes directions des faisceaux réfléchis. Deux solutions possibles pour ces vis : une, élaborée, avec vis assez longue et comprenant un contre-écrou permettant l'articulation, une plus simple avec vis assez « libre » dans son logement.

— Il est nécessaire que les ouvertures soient assez élevées par rapport à la table de travail, d'où l'utilité des piliers du socle car la lampe n'étant évidemment pas parfaitement horizontale, les faisceaux ne doivent pas éclairer... le plan de travail ; d'autre part, l'utilisation de support, loupe, réseau, etc., dans les expériences décrites par la suite, nécessitent une certaine hauteur.

III. SIMPLIFICATIONS POSSIBLES.

— On peut utiliser à la place du bois du polystyrène ou toute boîte déjà préformée, du type de celles utilisées pour

conserver les glaces et sorbets vendus dans le commerce. Pour le travail du polystyrène, se reporter aux différents articles parus dans le B.U.P.

— Les glissières pour guider les diapositives ont été proposées pour travailler plus facilement ; elles ne sont pas indispensables, les différents caches pouvant être « scotchés ».

— Les miroirs peuvent ne pas être articulés sur le socle, il suffit de les monter sur des bouchons pour avoir la hauteur convenable.

— Enfin, nous proposons pour tous ceux qui manquent de matériel, de temps, etc., un montage apparemment peu sérieux et qui, pourtant, fonctionne assez bien. Il a été essayé et nous avons été surpris du résultat.

Matériel nécessaire :

Une boîte d'allumettes (!) grand format, une douille à vis type E 10 avec fils, une lampe 6 V 0,35 A, deux piles de 4,5 V,

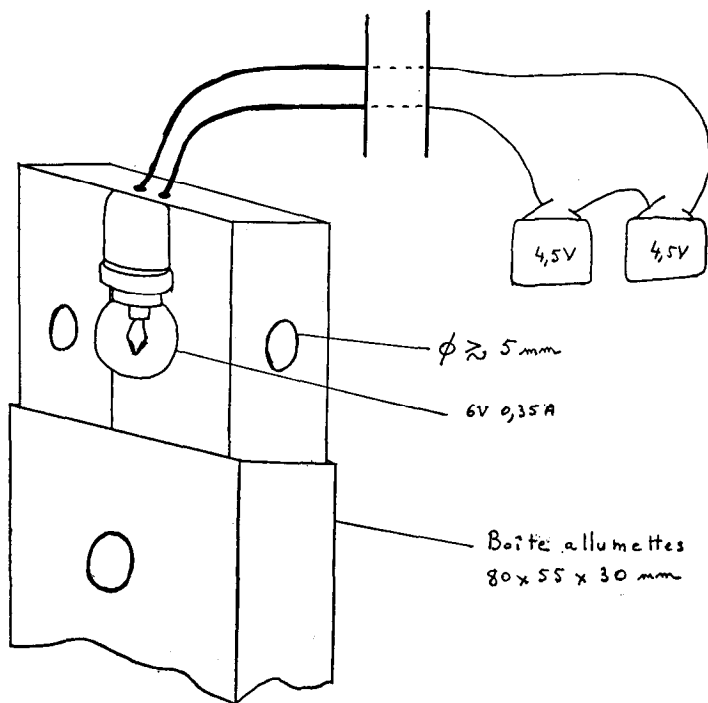


Fig. 4

pincettes crocodile, fil. Coller la douille sur la boîte puis percer les trois trous de diamètre 5 mm environ et alimenter la lampe avec les deux piles en série (lampe survoltée). On obtient une excellente source lumineuse à peu de frais. Pour éliminer la lumière parasite, coller sur les côtés du papier plastique d'isolation électrique noir. Là encore, le papier d'aluminium permettra d'augmenter l'intensité de la source.

Pour utiliser les miroirs, il faut évidemment les fixer dans des bouchons pour les régler en hauteur et les rendre stables.

Nous remercions M. CHALINE, de l'Atelier, pour son aide précieuse lors de la réalisation de cette source lumineuse.

QUELQUES EXPERIENCES REALISABLES

Pour toutes les expériences données, il est nécessaire d'avoir un écran pour chaque source lumineuse ; on en confectionnera très facilement en utilisant du carton provenant d'emballages divers, de dimension 300×200 mm par exemple, sur lequel on collera du papier Canson blanc et trois bouchons taillés servant de base à l'écran. Prévoir également du papier Canson noir, à coller dans deux caches diapositives en plastique ; ces deux caches serviront à obturer éventuellement les faisceaux. Nous avons également mis les filtres de couleur utilisés dans des caches de plastique, car ils sont plus solides que les caches en carton d'origine. Confectionner également une fente avec une lame de rasoir cassée en deux, les deux parties obtenues étant collées avec du papier noir dans un cache plastique, de façon à obtenir une fente de 5×2 mm environ ; il n'est pas souhaitable d'avoir une fente trop étroite à cause de la perte de luminosité, ni trop longue à cause de la divergence du faisceau.

I. EXPERIENCES CONCERNANT LES OMBRES, LES ECLIPSES, LES MIROIRS...

Diverses choses étant réalisables suivant le désir de chacun, nous ne détaillerons pas d'expériences à proprement parler mais signalons qu'il s'agit d'obstruer les faisceaux de côté avec les caches de papier noir et de mettre l'écran à environ 50 cm ; on obtient alors sur l'écran une forme de croissant qui est évidemment la trace du filament de la lampe. Le faisceau n'est bien sûr pas parallèle, mais il n'est guère plus divergent que celui d'un projecteur de diapositives et les résultats sont très convenables.

II. LENTILLE. OBTENTION DE L'IMAGE D'UN OBJET (FENTE).

1) Matériel :

Pour chaque groupe :

- la source,
- deux caches avec papier noir pour obstruer les faisceaux de côté,
- la fente,
- un pied support avec une noix et une pince,
- une loupe empruntée aux Sciences naturelles (distance focale : environ 10 cm),
- un écran.

2) Montage :

On fait réaliser le montage de la fig. 5 ; le but sera d'obtenir sur l'écran une image nette de la fente.

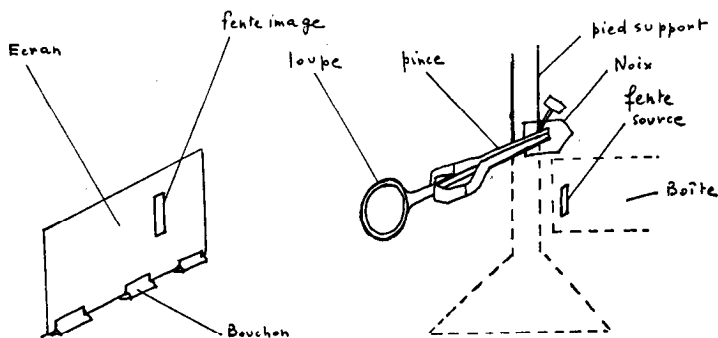


Fig. 5

3) Manipulation :

Nous suggérons cet ordre de manipulation :

- Boîte fixe, écran fixe situé à environ 50 cm de la boîte, faire intercaler la loupe et la déplacer. Les élèves vont s'apercevoir qu'ils peuvent obtenir sur l'écran soit l'image de la fente, soit l'image du filament de la lampe ; ne plus déplacer la loupe quand ils ont l'image de la fente.
- Boîte et loupe fixes, on leur fait déplacer l'écran pour obtenir sur l'écran l'image nette de la fente (notion de mise au point, d'image conjuguée de l'objet, d'alignement en hauteur de l'ensemble, etc.).
- En enlevant la fente, et en lui substituant un autre cache avec papier noir percé d'un petit trou central, on peut faire

tourner doucement la loupe avec sa pince autour de l'horizontale pour mettre en évidence la non déviation du rayon passant par le centre optique.

III. DECOMPOSITION DE LA LUMIERE BLANCHE. ROLE DES FILTRES DE COULEUR.

1) Matériel :

Le même que précédemment, mais en plus :

- une pince et une noix,
- un réseau par transmission 530 traits par mm (*),
- un jeu de six filtres colorés ; les couleurs utilisées seront : le rouge orangé, le bleu violet et le vert ; le cyan, le magenta, le jaune.

2) Montage :

On réalise d'abord le montage précédent et on intercale le réseau juste derrière la loupe (le même pied support est utilisé pour le réseau et pour la loupe) ; on voit alors nettement sur l'écran l'image de la fente et, de part et d'autre, le spectre de la lumière utilisée. Il est essentiel, à notre avis, d'avoir les deux à la fois, car les élèves vont alors rapidement comprendre l'origine des couleurs en optique.

3) Manipulations :

Nous proposons :

- Décomposition de la lumière blanche. Dessin du spectre continu obtenu (fig. 6).

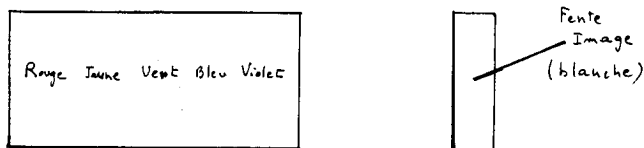


Fig. 6

— Rôle des filtres :

On va intercaler sur le faisceau de lumière blanche les différents filtres et bien observer la couleur de l'image de la fente et le spectre situé de part et d'autre. On peut consigner les résultats dans un tableau du type :

(*) Le réseau distribué par JEULIN donne de bons résultats.

Couleur du filtre	Couleur de l'image de la fente	Couleurs principalement éteintes dans le spectre
	Blanc	
Rouge orangé	Rouge orangé	{ Jaune Vert Bleu Violet
Vert	Vert	{ Rouge Violet
Bleu violet	Bleu violet	{ Rouge Jaune Vert
Cyan	Cyan	{ Rouge Jaune
Magenta	Magenta	Vert
Jaune	Jaune	{ Bleu Violet (mauvais filtre)

IV. RECOMPOSITION DE LA LUMIERE BLANCHE. NOTION DE COULEURS COMPLEMENTAIRES (*).

Ces notions étant assez difficiles, nous pensons qu'il ne faut pas être trop ambitieux ; néanmoins, on peut très bien essayer de faire passer la notion de couleurs complémentaires, car il s'agit d'un vocable que tout le monde connaît sans toujours en soupçonner les prolongements dans la vie courante. La télévision couleur commence à être répandue ; enfin, n'oublions pas les prolongements possibles en dessin d'art.

A ce propos, il sera nécessaire de faire la liaison avec les couleurs en peinture, ce qui n'est pas évident (voir remarque). Bien entendu, nous ne parlerons que de la synthèse additive des couleurs, en laissant volontairement de côté la synthèse soustractive qui risquerait à ce niveau de créer une confusion irrémédiable.

(*) N.D.L.R. : Notre collègue dans la fin de son article dépasse le cadre du programme mais le sujet est intéressant.

1) Matériel :

- la source,
- les six filtres sous caches plastiques,
- les deux caches plastiques avec le papier noir.

2) Montage :

Très simple. On met l'écran à environ 50 cm de la boîte. On occulte les deux faisceaux latéraux. On obtient donc un faisceau direct de lumière blanche sur l'écran.

3) Manipulations :

- On interpose sur le faisceau central le filtre rouge-orangé ; on obtient donc sur l'écran du rouge orangé.
- On interpose le filtre vert sur un des faisceaux latéraux ; avec le miroir, on fait obtenir sur l'écran la tache verte que l'on fait superposer en partie seulement sur la tache rouge orangé ; on obtient alors du jaune (à la surprise quasi générale...).
- On enlève le filtre vert et on interpose sur l'autre faisceau le filtre bleu violet ; on procède de même et l'on obtient du magenta.
- Enfin, on fait utiliser les trois filtres en même temps ; à la superposition des trois couleurs, on obtient un blanc (fig. 7).

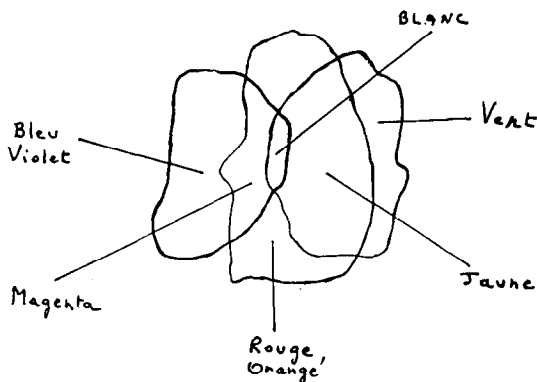


Fig. 7

- On peut faire dessiner aux élèves l'organigramme de la fig. 8, ce qui permettra de poursuivre l'étude de façon claire.
- On fait remarquer qu'on obtient alors les trois couleurs dites « primaires » : Cyan, Magenta, Jaune, dont les noms sont Bleu, Rouge, Jaune dans la théorie des couleurs en peinture.

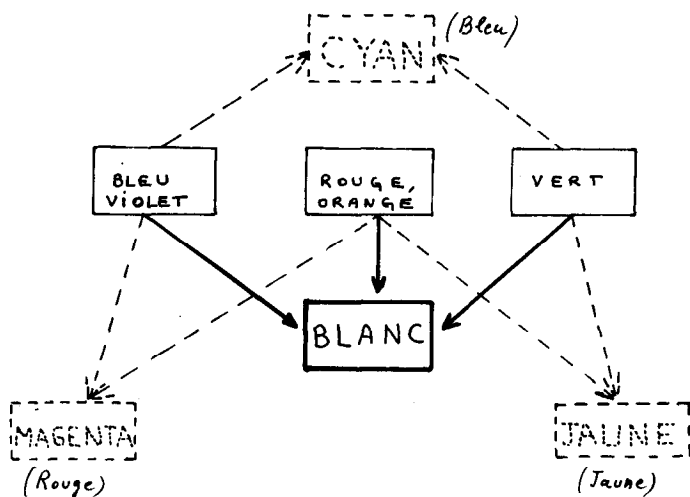


Fig. 8

- Couleurs complémentaires : on appelle ainsi deux couleurs qui, superposées, donnent du blanc. Mais le blanc étant la « somme » des trois couleurs Vert, Rouge orangé et Bleu violet, et ces couleurs pouvant s'additionner deux à deux, à chaque couleur correspond donc une couleur complémentaire qui est la « somme » des deux autres. Ceci est assez clair si on utilise la fig. 8.

On peut donc faire trouver :

Couleur étudiée	Couleur complémentaire
Vert	Rouge orangé + Bleu violet : Magenta
Rouge orangé	Cyan
Bleu violet	Rouge orangé + Vert : Jaune
Magenta	Vert
Cyan	Rouge orangé
Jaune	Bleu violet

- Vérification expérimentale. Elle est immédiate, en occultant le faisceau central et en combinant les filtres deux à deux dans l'ordre du tableau précédent.

Remarque :

Il est impossible à ce stade de passer sous silence le problème des couleurs en peinture : avant tout, il s'agit en fait d'un problème de langage. Nous pensons qu'il ne faut pas employer l'expression « filtre vert primaire » par exemple ; en effet, en dessin, le vert est une couleur... secondaire ! C'est donc à dessein que, dans les lignes qui précèdent, nous avons utilisé les termes « Rouge orangé, Bleu violet » car ce sont les noms de ces filtres de couleur en peinture. Au contraire, le terme Rouge désigne en peinture le Magenta, et le terme Bleu désigne le Cyan.

Pour résumer, on peut dire aux élèves qu'en peinture, les gouaches par leur nature ne peuvent donner comme couleurs de base que le Bleu (Cyan), le Rouge (Magenta), le Jaune, appelées pour cela « primaires », alors qu'en optique, on reconstitue ces couleurs à partir d'un bleu violet, d'un vert, d'un rouge orangé, par exemple en télévision. En quelque sorte, dans l'expérience qui vient d'être réalisée, on a fait la construction inverse de la construction du cercle chromatique en peinture.

V. EMISSION ET ABSORPTION DES COULEURS. COULEURS DES OBJETS.

Bien que suite logique de ce qui précède, ces notions sont plus difficiles, tout dépend du niveau de la classe. Il est d'abord nécessaire de se procurer des échantillons de papiers de couleur pour affiches dans les magasins spécialisés en arts décoratifs, avec l'aide par exemple du collègue de dessin de l'établissement ; ces papiers doivent être de la couleur la plus proche possible des filtres utilisés.

1) Matériel :

Identique à celui de la manipulation précédente, avec les échantillons de papier. Pour les filtres fournis (C.E.M.S. et JEU-LIN), nous donnons les références des papiers de couleurs les plus proches des filtres. Fabricant : LETRASET ; modèle : PANTONE. Référence de la couleur :

- pour le Magenta (Rouge) : « Rhodamine Red »
- pour le Rouge orangé : « Red 032 »
- pour le Jaune : « Yellow »
- pour le Vert : « 361 »
- pour le Cyan (Bleu) : « 313 »
- pour le Bleu violet : « Reflex Blue »

2) Manipulations :

a) Manipulation N° 1.

Il faut d'abord que les élèves comprennent qu'un corps blanc réfléchit toutes les couleurs et n'en absorbe pas et qu'un corps

noir fait le contraire (blanc et noir « parfaits » théoriquement...). Une certaine lumière, de couleur X par exemple, peut donc être considérée comme de la lumière blanche *moins* la couleur complémentaire Y (puisque $X + Y = \text{blanc}$). Par exemple, un papier rouge orangé éclairé en lumière blanche ne réfléchit que le rouge orangé et absorbe les autres couleurs. Donc, si on éclaire ce papier par la couleur complémentaire du Rouge orangé (donc le Cyan), il devrait tout absorber et paraître noir.

Faisons la manipulation : on fixera un échantillon de papier de couleur sur l'écran à l'aide d'un attache-lettre par exemple et on éclairera avec le faisceau central sur lequel sera interposé le filtre désiré. On peut faire chercher quel filtre devra être interposé pour voir le papier en noir ; par exemple :

Couleur du papier éclairé en lumière blanche	Filtre à utiliser pour que le papier semble noir	Couleur de l'écran
Rouge orangé	? (cyan)	? (cyan)
Magenta (Rouge)	Vert	Vert
Jaune	Bleu violet	Bleu violet
Vert	Magenta (Rouge)	Magenta (Rouge)
Cyan (Bleu)	Rouge orangé	Rouge orangé
Bleu violet	Jaune	Jaune

Si l'échantillon de papier est éclairé par de la lumière autre que celle de la complémentaire, il ne paraîtra plus noir, mais d'une autre couleur. Par exemple, en éclairant le papier jaune avec du Cyan (Bleu de la peinture) et non avec du Bleu violet (complémentaire du Jaune), le papier prend une couleur verte. Ceci est bien en accord avec la théorie des couleurs en peinture.

Remarque importante :

A part cet exemple précédent du papier jaune éclairé par le cyan, ne pas essayer à notre avis de reconstituer de même les autres couleurs secondaires de peinture : par exemple, théoriquement, le papier vert éclairé avec du rouge orangé devrait paraître brun ; en fait, dans l'expérience, il paraît quasi noir. Ceci provient évidemment à la fois du filtre et à la fois de l'échantillon de papier. C'est pourquoi dans cette manipulation, nous nous sommes volontairement restreint au tableau précédent. Il nous paraît en effet essentiel que les élèves aient des

notions claires et il faut éviter les occasions de confusion qui sont déjà nombreuses dans ce qui précède.

b) Manipulation N° 2.

En premier lieu, préparer une solution moyennement concentrée de permanganate de potassium (solution très employée en chimie par la suite pour les élèves qui poursuivront leurs études, et en plus très courante dans les laboratoires). Sa couleur à la lumière blanche est pour ainsi dire Magenta (Rouge de la peinture). Mettre cette solution dans une cuve à faces parallèles ou à la rigueur dans un bécher (en verre !). Quelle est la couleur absorbée par cette solution ? : normalement, c'est le vert. Vérifions-le :

- On reforme le spectre de la lumière blanche avec la source comme en III.3.). On intercale la cuve ou le bécher entre la source et la loupe : on voit alors très bien sur l'écran une large bande noire dans le spectre, au niveau du Vert.
- On intercale devant la fente le filtre Vert : il y a extinction totale sur l'écran, aussi bien sur le spectre que sur l'image de la fente à côté. Là encore, la théorie optique des couleurs complémentaires est bien vérifiée.

Remarque :

Avec la source de lumière dont nous disposons, cette manipulation fonctionne très bien si on prend soin de fabriquer une solution pas trop concentrée. Nous avons également essayé une solution de sulfate de cuivre, mais le résultat est moins probant ; le faisceau lumineux n'est pas assez intense, le coefficient de transmission de la solution même peu concentrée est faible, enfin il est plus difficile de définir la couleur de cette solution, qui, suivant la concentration, varie du bleu clair au bleu violet en passant par le bleu vert..., alors que la couleur d'une solution de permanganate de potassium est toujours quasiment du magenta (plus ou moins foncé).

De même, avec la source employée, il ne nous a pas été possible de montrer un spectre de raies, à cause de la luminosité. Mais le Professeur pourra très bien montrer en complément, avec l'aide d'un projecteur de diapositives, le spectre de raies d'absorption des vapeurs nitreuses NO_2 . Rappelons qu'on obtient ce spectre en utilisant une cuve ou un flacon dans lesquels on fait réagir de l'acide nitrique concentrée sur de la tournure de cuivre. On peut également montrer le spectre d'absorption de la chlorophylle (bien complexe à notre avis, pour ce niveau, car la solution paraît verte, et ceci nettement, alors qu'il existe des raies d'absorption dans toutes les couleurs, dues à la fois à la chlorophylle pure et à la fois aux caroténoïdes).

CONCLUSION.

Dans tout ce qui précède, aussi bien dans la confection de la source lumineuse que dans les différentes manipulations proposées, notre but essentiel est de faire réfléchir les élèves à partir de matériel qu'ils utilisent *eux-mêmes* ; c'est pourquoi nous nous sommes limité à des expériences relativement simples. Bien d'autres connues sont réalisables avec des projecteurs de diapositives, mais elles n'auront pas forcément le même impact. Malgré tout, des difficultés risquent de surgir, dues essentiellement aux différences de langage entre artistes peintres et physiciens ; une fois ce point précisé, les suites de l'étude n'en sont que plus claires. En particulier, deux phénomènes de la vie courante sont la conséquence de l'étude réalisée : la télévision couleur et les couleurs prises par les objets situés dans une voiture qui passe sous un éclairage à la vapeur de sodium par exemple. Enfin, après cette étude, on peut espérer que la plupart des élèves auront compris que les objets n'ont pas de couleur en eux-mêmes, puisqu'ils changent de couleur suivant l'éclairage.

Sans doute certaines des expériences proposées sembleront bien trop compliquées à certains, mais nous pensons qu'elles valent la peine qu'on les essaie, ne serait-ce qu'avec la petite source lumineuse que nous proposons à partir d'une boîte d'allumettes, et de papiers translucides de couleur... Après tout,... « la couleur, c'est la vie !... »

Nous remercions M^{me} D. CLERGEOT, Professeur de Dessin d'Art, dont la collaboration a été des plus précieuses.

G. DELAVET,
Sciences physiques
(Lycée Delalande - Athis-Mons).

BIBLIOGRAPHIE

- Johannes ITTEN : « *L'art et la couleur* ». Ed. Dessain et Tolra.
- DOURGNON, KOWALSKI : « *La reproduction des couleurs* ». P.U.F., coll. « Que sais-je ? ».
- E. BAUM GART : « *La vision* ». P.U.F., coll. « Que sais-je ? »