

Le rétroprojecteur en sciences physiques

par R. JOUANISSON
ADASTA - UFR Sciences, 63177 Aubière Cedex

Le rétroprojecteur est la «lanterne magique» de notre époque. Il permet de projeter des documents dans des conditions exceptionnelles de simplicité et d'efficacité, grâce à sa grande luminosité, à son champ très étendu et à sa grande maniabilité.

Mais il semble que son utilisation ne soit pas aussi courante qu'elle pourrait l'être pour projeter des expériences de physique. Moyennant quelques adaptations simples, le rétroprojecteur permet aussi bien de projeter l'image d'un spectre magnétique que celle d'un spectre de lumière blanche. De nombreuses expériences deviennent particulièrement spectaculaires et sont susceptibles de rendre l'enseignement de la physique attrayant.

Cependant, pour réaliser de bonnes projections - et rendre par là-même l'enseignement efficace - il est important de connaître un certain nombre de lois physiques et physiologiques de la vision que nous avons cru bon de rappeler ici.

La rédaction de ce document nous a été suggérée à la suite de la Conférence donnée au CDRP de Clermont-Ferrand, en mars 1988, à l'occasion d'une journée audiovisuelle organisée par la Mission Académique. Une réflexion plus approfondie a été menée sur ce sujet lors de l'Université d'Été organisée par l'ADASTA sur le thème de «l'Expérimentation dans l'enseignement de la Physique». L'intérêt manifesté par les stagiaires nous incite à publier ce document qui n'a pas la prétention d'être exhaustif, mais qui est susceptible de rendre service à tous ceux qui pensent que l'expérimentation a encore quelque utilité dans notre enseignement.

Nous souhaiterions que de nombreux collègues nous fassent part de leurs «découvertes» dans ce domaine.

1. PRINCIPE DE L'APPAREIL

Le rétroprojecteur est un appareil d'optique qui a été conçu pour

permettre la projection sur un écran vertical de l'image de documents transparents de grandes dimensions placés dans un plan horizontal.

Le champ de l'appareil correspondant à la surface de document dont on peut faire l'image est de l'ordre de $28 \times 28 \text{ cm}^2$.

Cet appareil comporte les éléments essentiels suivants : (voir Figure 1)

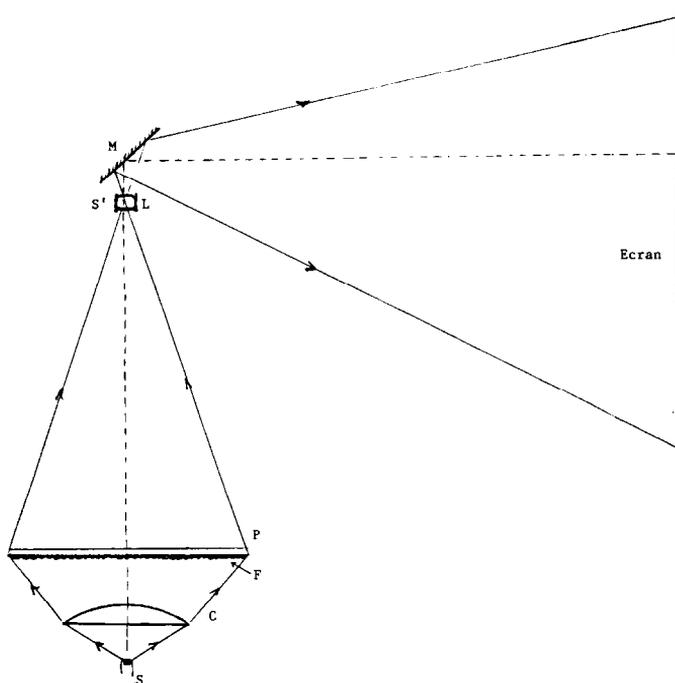


Figure 1

1. Une source de lumière (S) de forte puissance (250 watts), constituée par une ampoule quartz-iode alimentée sous 24 volts par l'intermédiaire d'un transformateur (voir la fiche pédagogique n° 20 : sources de lumière).

2. Un condenseur (C) d'axe vertical constitué par une lentille plan convexe de courte distance focale.

3. Une lentille de Fresnel (F) de grandes dimensions (environ 30×30 cm), jouant également le rôle de condenseur, surmontée par une plaque de verre (P) qui servira de table pour les documents (D). L'ensemble est placé sur un plan horizontal pour des raisons de commodité (il suffit de poser les documents sur la table).

4. Le système optique constitué par le condenseur et la lentille de Fresnel donne de la source (S) une image en (S'). C'est au voisinage de ce point qu'est placée la lentille de projection (L) destinée à former sur l'écran l'image d'un objet placé sur (P).

Placée en S', la lentille (L) est utilisée dans les meilleures conditions : réduction des aberrations de sphéricité, absence de distorsion, maximum de luminosité.

5. Un miroir (M) ou un prisme à réflexion totale dévie le faisceau moyen de 90° afin de permettre une observation sur un écran vertical.

Un dispositif mécanique (crémaillère) permet le déplacement de l'ensemble (L) et (M) par rapport à (P) de manière à assurer la conjugaison objet-image (la distance focale de l'objectif est de l'ordre de 30 cm).

On a intérêt à ce que l'objet soit placé le plus près possible de la lentille de Fresnel (champ maximum, uniformité d'éclairement, netteté des contours du champ, limitation des aberrations chromatiques), cependant l'image de la lentille de Fresnel constituée par des cercles concentriques peut être gênante sur l'écran. De plus, la lentille peut comporter des imperfections ; on a alors intérêt à éloigner légèrement l'objet à projeter de la lentille. On pourra pour cela utiliser des cales (voir plus loin). La table en verre est en général située à environ 1 cm au-dessus de la lentille de Fresnel.

6. L'appareil est muni d'un ventilateur et quelquefois d'un filtre anticalorique.

2. CONDITIONS D'UNE BONNE PROJECTION

Nous rappelons ici un certain nombre de caractéristiques du comportement physiologique de l'œil dont il faut tenir compte si l'on veut transmettre une information avec le maximum d'efficacité et le minimum de fatigue pour le récepteur.

2.1. L'œil a besoin de beaucoup de lumière

Bien que les éclairagements extrêmes auxquels l'œil est sensible varient dans un rapport énorme (10^6) qui ne s'explique pas uniquement par l'adaptation pupillaire, le confort visuel exige un éclairage important de l'écran. L'œil est adapté pour observer des éclairagements de plusieurs milliers de lumen/m² (éclairage dû au soleil).

2.2. Le champ visuel est plus étendu dans un plan horizontal que dans un plan vertical

Pour un œil immobile le champ est de 80° dans un plan vertical et de 120° dans un plan horizontal. En fait on distingue plusieurs champs (voir Figure 2) : le champ central (environ 25°) avec au centre la tache visuelle et une vision précise (1°).

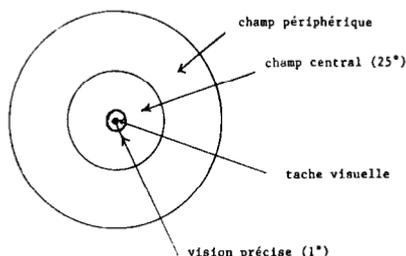


Figure 2

2.3. L'acuité visuelle dépend de l'éclairage et du contraste de luminance

L'acuité visuelle mesure l'aptitude à percevoir les détails (Figure 3). On la mesure à l'aide des anneaux de Landolt.

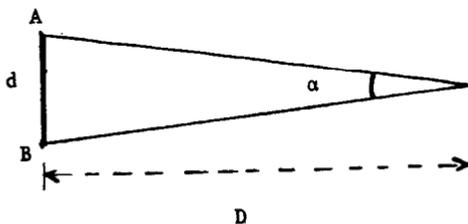


Figure 3

A partir du plus petit détail observable, $AB = d$, situé à la distance D de l'œil, on définit l'acuité visuelle : $A = \frac{D}{d} = \frac{1}{\alpha}$ (avec $\text{tg } \alpha \sim \alpha = \frac{d}{D}$).

L'acuité visuelle est de l'ordre de la minute d'arc, mais pour les éclaircissements faibles cette valeur peut s'exprimer par un nombre 10 fois plus grand.

De même, l'expérience montre que l'acuité visuelle diminue lorsque le contraste avec le fond devient faible. Le contraste de luminosité est défini par :

$$C = \frac{L - L'}{L}$$

L luminosité du fond ($L > L'$)

L' luminosité de l'objet

2.4. L'œil est un instrument capable de comparer des luminances

L'œil est capable d'apprécier, avec une précision qui sera chiffrée plus loin, l'égalité des luminances de deux plages voisines observées simultanément.

En revanche il ne sait pas mesurer le rapport de deux luminances. D'autre part, sa mémoire ne lui permet pas de comparer, avec précision, les luminances de deux plages observées successivement.

Supposons que l'œil compare deux plages voisines dont les luminances sont L et $L \pm \Delta L$. Il percevra la différence de luminosité (et par suite l'information correspondante) si $\frac{\Delta L}{L}$, appelé seuil différentiel relatif, est supérieur à une certaine valeur. Par exemple, si la luminosité est assez élevée, les plages suffisamment grandes et la ligne de séparation nette, ce seuil peut descendre jusqu'à 1 %. Si la luminosité est faible ce seuil peut être supérieur à 10 %.

En conclusion on retiendra cette propriété essentielle : L'œil peut comparer deux informations avec une bonne précision, à condition que ces deux informations soient observées simultanément.

Dans la plupart des cas on utilise des documents où les contrastes

de luminance L et L' sont élevés (noir sur blanc), le problème ne se pose pas car :

$$\frac{L - L'}{L} = 1$$

On peut même laisser les lumières de la salle allumées. Supposons que cet éclairage corresponde sur l'écran à une luminance L_0 , le contraste devient :

$$\frac{(L + L_0) - (L' + L_0)}{L + L_0} = \frac{L - L'}{L + L_0}$$

Si L_0 n'est pas trop grand le contraste est encore suffisant pour permettre une bonne observation.

Dans certaines expériences de physique, en revanche, on sera amené à déceler des informations pour lesquelles le contraste est faible, ce qui exigera certaines précautions; en particulier on rendra L_0 égal à zéro.

3. UTILISATION «NORMALE» DU RÉTROPROJECTEUR

Par «normale» il faut entendre une utilisation qui correspond à la projection de documents, schémas, photographies, graphes, etc... En ce sens le physicien ne se distingue pas des autres utilisateurs et nous n'insisterons pas davantage sur cette utilisation.

En plus des documents il est possible de projeter des objets, des expériences, des instruments de mesure, etc... qui n'exigent pas d'adaptation particulière : on dira encore que l'utilisation est «normale».

Il n'est pas question de faire une liste exhaustive de tout ce qui peut être projeté utilement avec un tel projecteur. Chacun verra l'intérêt que présente telle ou telle projection. Disons seulement qu'à notre connaissance, les possibilités de cet appareil sont très peu exploitées dans l'enseignement de la physique.

Un système de caches sera toujours à portée de la main pour isoler la partie intéressante à projeter. Par exemple on réalisera dans un papier

cartonné deux caches en forme de L (aux bords bien nets) grâce auxquels on pourra réaliser des ouvertures rectangulaires (Figure 4).

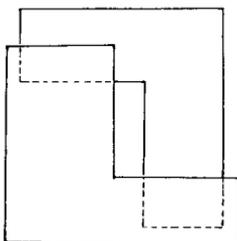


Figure 4

Dans certains cas on pourra avoir intérêt à utiliser un diaphragme circulaire.

A titre d'exemple voici quelques expériences où l'emploi du rétro-projecteur se révèle très avantageux :

a - Projection de spectres électriques et magnétiques

Le grand champ permet de comparer simultanément plusieurs types de spectres.

b - Projection de diapositives

L'appareil est intéressant si l'on veut comparer plusieurs documents sur lesquels figurent peu d'informations. (Par exemple comparer la figure de diffraction correspondant à une, deux ou plusieurs ouvertures).

c - Projection de cadrans d'appareils de mesure

Certains appareils sont munis de cadrans transparents (voltmètres, ampèremètres, thermomètres, etc).

d - Étude des ondes stationnaires

Le long d'un ressort ou d'une corde. L'inconvénient est qu'il n'est pas possible de stroboscooper facilement. En revanche le grand champ permet d'avoir une vue d'ensemble du phénomène ; on peut comparer le mouvement de l'excitateur et celui du résonateur, etc...

e - Phénomènes à la surface d'un liquide

Par exemple étude des ondes : propagation, réflexion, réfraction,

ondes stationnaires, diffraction, etc... On réalisera une cuve à fond transparent ayant les dimensions de la table du rétroprojecteur. Une amélioration de la qualité de l'image peut être obtenue grâce à un diaphragme convenable placé au point de focalisation du faisceau (voir paragraphe 5.).

On peut montrer également des expériences spectaculaires sur la tension superficielle (voir la fiche pédagogique n° 14). L'étude des bulles de savon et des lames minces peut se faire en utilisant une plaque de verre auxiliaire posée sur des cales (les bulles posées sur une plaque mouillée donnent un hémisphère raccordé par une circonférence bien stable).

f - Mise en évidence de faibles déplacements

Les expériences où l'on observe de faibles déplacements gagneront à être projetées pour en amplifier le mouvement. Par exemple des attractions ou répulsions de nature électrostatique ou électromagnétique, la rotation d'une boussole, la colonne de liquide d'un thermomètre, etc...

g - Expériences sur la polarisation de la lumière

L'existence des polaroïds et de substances biréfringentes en feuille (cellophane, polyéthylène) permet de réaliser toutes les expériences sur la polarisation avec un rétroprojecteur de manière très spectaculaire (voir la fiche pédagogique n° 8). On aura intérêt à se procurer un polariseur de grand format et un autre plus petit servant d'analyseur qui sera placé dans la partie rétrécie du faisceau (compatible avec l'échauffement).

Si l'on veut étudier simultanément (ce qu'on a toujours intérêt à faire) les phénomènes qui se produisent lorsque les polaroïds sont croisés et parallèles on réalisera un polariseur formé de deux parties 1 et 2 ayant leurs directions de polarisation orientées à 90° (Figure 5).

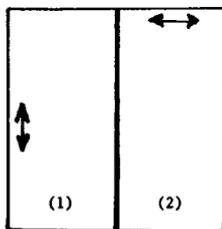


Figure 5

Grâce à ce dispositif on pourra observer par exemple simultanément les couleurs complémentaires dans une expérience de polarisation chromatique.

4. EXPÉRIENCES DE SPECTROSCOPIE

Pour la projection d'un spectre de lumière blanche on utilisera de préférence un réseau (300 ou 400 traits/mm) par transmission.

On réalisera une «fente» comme il a été dit précédemment avec deux caches en forme de L dont la superposition permettra d'obtenir une ouverture de largeur et de hauteur variables qu'on adaptera aux caractéristiques de l'élément disperser. Avec un réseau de 300 traits par mm par exemple une fente de 0,5 cm de large conviendra.

(Cette solution est évidemment beaucoup plus simple et plus souple que celle qui consiste à utiliser une fente fixe). Seule précaution à prendre : découper les éléments de la fente dans un élément assez rigide avec des bords nets (carton ou plaque métallique).

La fente est installée sur la table du rétroprojecteur, en son milieu (partie la mieux éclairée) et l'on fait son image sur l'écran. On place le réseau (avec les traits parallèles à la fente) au voisinage de l'image de la source (de manière à ce que le réseau ne limite pas le champ) c'est-à-dire près de la lentille de projection. S'il y a lieu on placera un diaphragme pour éliminer le faisceau qui ne rencontre pas le réseau. On obtient alors deux (ou plusieurs spectres) symétriques sur l'écran. (On aura intérêt pour cette expérience à faire l'obscurité dans la salle).

Avec un prisme le montage est plus compliqué car il faut tenir compte de la déviation de la lumière (on peut être amené à supprimer le miroir).

4.1. Expériences

Alimenter le rétroprojecteur à l'aide d'un alternostat et augmenter progressivement la tension d'alimentation. Observer simultanément la lumière analysée (dans le spectre d'ordre zéro) et le spectre. A basse température la lumière est rougeâtre et le spectre, peu lumineux, contient surtout du rouge et du jaune. On voit ensuite apparaître le vert et le bleu.

Si la projection se fait sur un écran en papier (papier à machine par exemple) on verra apparaître une fluorescence bleue, située au-delà du violet et qui est due à la présence de l'ultraviolet (ce phénomène ne se produit pas sur un écran perlé).

Pour bien mettre en évidence l'ultraviolet on procèdera de la manière suivante : masquer la moitié de la fente (Figure 6) en posant dessus un filtre ultraviolet (par exemple un morceau de lexan du commerce). On observe sur l'écran deux spectres superposés pratiquement identiques sauf en ce qui concerne la présence de l'ultraviolet. Si la différence n'est pas très nette : retirer le filtre puis le remettre assez rapidement.

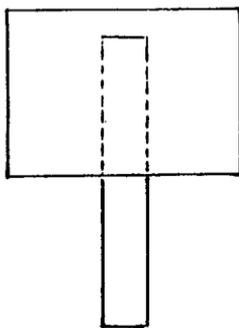


Figure 6

Ce montage sera très commode pour étudier des spectres d'absorption quelconques : ceux obtenus avec des filtres ou des solutions colorées. A défaut on peut utiliser des verres colorés avec des feutres de couleur.

Un beau spectre de bande sera obtenu avec une solution de chlorophylle (obtenue en laissant macérer des feuilles vertes dans l'alcool).

Dans tous les cas on ne masquera avec le filtre qu'une partie de la fente de manière à observer le spectre témoin de lumière blanche.

4.2. Expériences sur la synthèse additive des couleurs

On réalisera deux fentes (F_1 et F_2) dans un support en carton de manière qu'il soit possible de faire varier leur distance (Figure 7).

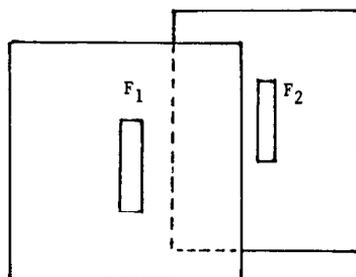


Figure 7

Sur l'écran on peut ainsi faire recouvrir le spectre d'ordre 1 correspondant à la fente F_1 avec le spectre d'ordre -1 correspondant à la fente F_2 (Figure 8).

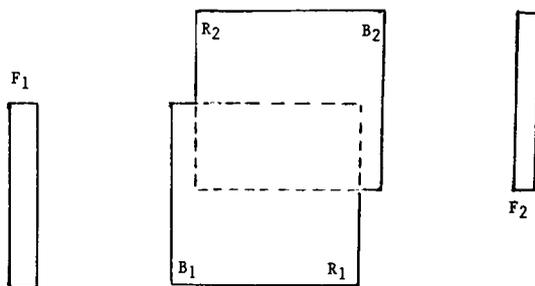


Figure 8

Si les 2 spectres se recouvrent on observe l'addition des couleurs : aux deux extrémités, rouge et bleu donnent une couleur pourpre. En décalant les spectres on peut observer l'addition du rouge et du vert (jaune) du bleu et du vert (bleu vert), etc... On peut aussi pour une somme donnée faire varier la luminance d'une des sources (en élargissant ou en rétrécissant la fente correspondante).

5. UTILISATIONS DIVERSES

Moyennant quelques adaptations plus ou moins importantes il est possible de transformer le rétroprojecteur en un appareil de projection utilisable dans tous les cas.

– Pour la projection d'objets situés dans un plan vertical (cuves plates à liquide, pendules pesants, etc...) on peut faire basculer l'appareil de manière à rendre sa table verticale ; on a alors intérêt à escamoter le miroir de manière à obtenir une image sur l'écran placé dans les conditions habituelles.

– L'introduction d'un stroboscope à moteur placé au point de focalisation du faisceau permet d'analyser les mouvements vibratoires.

– L'utilisation de divers diaphragmes peut être utile dans certaines expériences. On pourra alors réaliser une platine porte objet adaptée pour recevoir diaphragmes, filtres, etc...

A titre d'exemple le diaphragme de la Figure 9, qui élimine la partie centrale du faisceau, permettra d'améliorer le contraste dans une expérience d'ondes planes parallèles au diaphragme. Pour des rides circulaires on utiliserait le diaphragme indiqué à l'aide de la Figure 10. (Le diaphragme a pour effet d'éliminer une partie de la lumière constituant le «fond » et, par suite, d'augmenter le contraste).

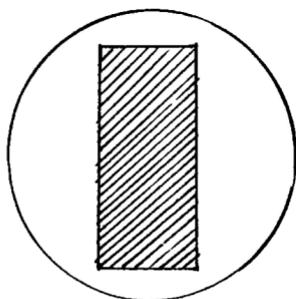


Figure 9

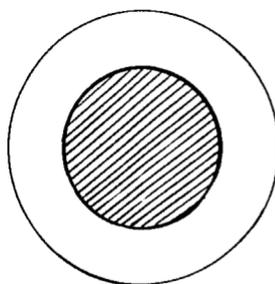


Figure 10