

---

# Bulletin de l'Union des Physiciens

Association des professeurs de Physique et de Chimie

---

## Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur *pour des étudiants d'arts appliqués*

par Françoise CHAUVET  
ESAA Duperré Paris, LDPEs Université Paris VII

---

### 1. INTRODUCTION

Parmi les thèmes d'étude qui mettent l'accent sur des problèmes variés, attrayants et significatifs pour les élèves apparaît celui de la couleur, repris à plusieurs niveaux dans les nouveaux programmes. Ce thème d'étude est l'occasion d'approfondir la compréhension d'un monde proche, celui de l'expérience quotidienne accessible par la perception.

Une expérimentation sur ce sujet a été menée avec des élèves d'une école d'arts appliqués, élèves confrontés à la création d'images avec des supports matériels et selon des procédés techniques les plus variés, de la peinture aux images de synthèse.

La séquence décrite ici a été proposée dans le cadre de l'enseignement de physique - chimie, enseignement jugé habituellement aride,

dogmatique et de peu d'intérêt par des élèves dont les choix professionnels sont déjà affirmés.

L'objectif général de cette séquence est de situer les phénomènes liés à la couleur et de chercher à les articuler avec les idées, les concepts et les connaissances scientifiques de chaque domaine impliqué :

- la physique et la chimie : la lumière, les propriétés des radiations à l'origine de la couleur, les interactions lumière / matière, les phénomènes d'absorption liés à la structure chimique des corps ;
- les mécanismes de la vision et la perception : l'œil, les récepteurs rétiniens de la vision des couleurs et l'analyse des phénomènes perceptifs liés à la vision des couleurs ;
- les applications techniques et les moyens plastiques : la production et la reproduction de la couleur, une introduction à la colorimétrie.

Pour chaque phénomène coloré, à chaque étape, nous nous appuyons sur ces trois entrées. Notre objectif n'est pas de développer les trois domaines, mais de réunir et synthétiser des données pour tisser un ensemble cohérent et accessible. Aborder un thème par plusieurs disciplines présente un intérêt en soi, mais la couleur comme sujet à caractère transversal impose ces accès multiples.

La démarche mise en place vise à associer au maximum les élèves à la construction de leurs connaissances. A travers cette séquence, nous avons cherché :

- à donner des outils d'observation et d'analyse du phénomène «couleur»,
- à énoncer les lois et les modèles nécessaires pour la compréhension des phénomènes (quels concepts introduire pour ce public ?),
- à introduire les éléments de base pour que les processus techniques puissent être appréhendés, sinon maîtrisés.

Les procédés techniques de production de couleurs sont utilisés comme situation expérimentale et base de la discussion et de la conceptualisation : la technique est donc présente à chaque étape, contribuant à ancrer l'enseignement dans une pratique.

Ce travail s'est déroulé en trois temps : une enquête préliminaire, l'élaboration et l'essai d'une séquence et l'évaluation de celle-ci, actuellement en cours.

## 2. LA COULEUR : ÉLÉMENTS CONCEPTUELS DE RÉFÉRENCE

Le phénomène de couleur étant fondamentalement associé à la perception visuelle, cet aspect sert d'ancrage principal à toutes les notions introduites.

En cours de physique, la couleur est introduite classiquement lors de la décomposition de la lumière blanche : à chaque radiation monochromatique, caractérisée par une longueur d'onde, correspond bien une couleur perçue. Mais la réciproque est fautive, une même couleur perçue peut être produite par des lumières de compositions spectrales différentes. Il apparaît là d'emblée l'importance de souligner le lien essentiel entre couleur et réponse perceptive.

Ainsi, à propos de la lumière, nous dégageons les propriétés les plus simplement associables à la sensation de couleur, *énergie transportée et composition spectrale*, sans développement sur la nature ondulatoire ou corpusculaire de la lumière.

La lumière *blanche* est la lumière du jour ou celle donnée par une lampe à incandescence. L'expression *lumière colorée* est prise ici au sens de «qui produit la sensation de couleur».

La lumière, blanche ou colorée, est invisible «de profil» lorsqu'elle se propage et ne produit une sensation que si elle pénètre dans l'*œil de l'observateur* : l'œil est le récepteur de lumière et l'observateur fait partie du montage.

Dans un environnement donné, l'identité de couleur de deux plages est estimée de la même manière par des observateurs différents : l'œil est un instrument de comparaison. C'est un principe de base de la colorimétrie visuelle qui permet de se dégager du caractère subjectif d'une perception et de rechercher les lois générales de la vision des couleurs.

La *luminance* est la grandeur photométrique associée à la quantité d'énergie lumineuse émise par une source étendue ou un récepteur, le terme correspondant dans le domaine perceptif est la *luminosité*.

Le spectre de la lumière blanche est découpé de façon simplifiée en *trois bandes* correspondant aux couleurs rouge, vert et bleu appelées couleurs *fondamentales*. Ce découpage, issu des travaux du

XIX<sup>e</sup> siècle, se trouve justifié par les théories neurophysiologiques sur la structure de l'œil [Buser, Imbert 1989].

Dans la vie courante, les couleurs perçues sont rarement produites par des radiations monochromatiques, mais beaucoup plus souvent par la *soustraction* partielle ou totale, dans la lumière blanche incidente, d'une bande de radiations plus ou moins large *absorbée* par la matière colorante (notamment filtres ou pigments).

### 3. QUELQUES DIFFICULTÉS REPÉRÉES ET HYPOTHÈSE SUR LEUR ORIGINE

Dans une première étape, une enquête exploratoire a été menée sur la base d'une dizaine d'entretiens par groupe de deux ou trois devant une situation expérimentale et d'un questionnaire écrit auprès d'un groupe de 60 élèves, dont on n'évoque ici que quelques questions.

Son but est de faire exprimer les connaissances et les conceptions liées à l'étude des phénomènes de couleur. Le choix des questions est guidé par quelques faits préalablement repérés en cours d'enseignement qui se confirment à travers les réponses.

Trois obstacles principaux sont apparus pour la compréhension du concept de couleur.

#### **Adhérence «couleur/matière»**

Cette difficulté apparaît lorsque le raisonnement se fait exclusivement dans les termes suivants :

*«La couleur est une propriété de la matière»*

Il s'agit là d'une conception commune, très soutenue par le vocabulaire courant où couleur est assimilée à matière colorante. Cette conception est encore renforcée chez notre public par la pratique du mélange des pigments liés aux apprentissages professionnels en arts plastiques.

#### **La perception est absente de l'analyse**

A la question : *«Où se crée la couleur jaune ?»* posée en entretien devant une expérience d'addition d'une lumière rouge et d'une lumière verte éclairant un écran blanc, les réponses fréquentes font

apparaître que l'écran n'a pas une fonction de visualisation, mais de matérialisation de la couleur :

*«la lumière est sur l'écran, la couleur est sur l'écran».*

Cette difficulté a déjà été repérée pour la lumière blanche auprès de publics divers. La lumière incidente n'est pas comprise comme diffusée vers les observateurs ni la sensation de couleur liée à la réception de lumière par l'œil.

### **La couleur «monochromatique»**

Lors de l'étude de la décomposition de la lumière blanche est introduite l'hypothèse d'une infinité de radiations monochromatiques. Chacune d'elles, lumière simple caractérisée par sa longueur d'onde, produit une couleur différente. 50 % des élèves interrogés font référence à cet enseignement de physique.

A la question : *«Toutes les couleurs sont-elles dans l'arc-en-ciel ?»*, 40 % des réponses\* affirment que *«la lumière blanche contient toutes les couleurs»*.

Il semble que, pour les élèves, puisqu'ils voient une infinité de couleurs dans l'arc-en-ciel, elles y soient toutes. Une couleur est implicitement associée à une radiation monochromatique, encore que cette expression ne soit jamais employée, les étudiants parlant plus volontiers de longueur d'onde.

Ces faits contribuent aux traits suivants, observés chez les étudiants en cours d'enseignement :

- la couleur de la lumière s'ajoute à la couleur naturelle de la matière, les lois du «mélange» des couleurs s'assimilent à celles du mélange des pigments ;
- les lois de l'addition de lumières et les notions sur la perception ne sont pas ou peu connues.

---

\* Les autres réponses limitent l'arc-en-ciel aux 7 couleurs de Newton ou excluent de l'arc-en-ciel (ce qui est correct) les couleurs telles que rose, marron... Notons que les pourpres purs sont des couleurs non spectrales qui ne peuvent être obtenues que par superposition du rouge spectral extrême et du violet spectral extrême.

Il s'ensuit que des termes, figurant dans les programmes d'arts appliqués et utilisés par eux pour leur caractère explicatif, tels «synthèse soustractive» et «additive», «absorption», restent vides de sens.

**Des connaissances existent, mais sont disjointes, non transférables d'une situation à une autre et constituent un patchwork venant des approches théoriques et pratiques issues des enseignements d'arts plastiques et des vestiges de cours de physique.**

#### 4. LES PRINCIPAUX CHOIX DE LA SÉQUENCE

Pour donner une cohérence à l'ensemble des phénomènes conduisant à la perception de la couleur, nous avons fait le choix d'objectifs intermédiaires, tenant compte des obstacles repérés.

Pour provoquer un déplacement du concept de couleur par rapport aux associations courantes couleur/matière et couleur/lumière et pour donner la notion de chaîne où sont introduits l'œil et le système visuel, nous structurons les opérations simplifiées sur la lumière.

On travaille d'abord l'addition des 3 lumières colorées de base (séance 1).

La notion de soustraction fait l'objet d'une attention particulière : elle est d'abord illustrée par l'effet d'un obstacle opaque dans des expériences d'«ombres colorées». Ce n'est qu'ensuite qu'elle est associée à des objets transparents (séance 2).

La maîtrise d'une combinatoire sur les lumières colorées est un objectif visé avant de mener une analyse spectrale de la lumière blanche et des lumières colorées (séance 3) et de faire apparaître l'*analogie de fonctionnement* des matériaux transparents (filtres) et des matériaux opaques (pigments, peintures...) par rapport à la composition de la lumière reçue par l'observateur (séance 4).

Enfin ces éléments trouvent à se réinvestir dans l'analyse des phénomènes de la vie courante, lorsqu'on change de lumière (séance 5), et dans l'utilisation de moyens techniques tels que les logiciels de dessin sur ordinateur ou l'impression en couleur (séance 6).

Dans toute cette séquence, il est fait une place très importante à des séances d'expérimentation et d'observation où se succèdent des phases de prévision, vérification et énoncé de règles générales.

On souhaite ainsi susciter la motivation des élèves, non seulement à travers des effets de surprise, mais aussi en les mettant progressivement en mesure d'analyser eux-mêmes des situations nouvelles.

## 5. DÉROULEMENT DE LA SÉQUENCE

La séquence, d'une durée globale d'une quinzaine d'heures, se déroule sur 7 séances. La description qui suit comporte pour chacune l'objectif d'ensemble. Nous donnons en encadré les textes écrits mis à la disposition des élèves, supports des activités et des questions proposées.

A cela s'ajoute un ensemble de notations indiquant les éléments conceptuels qui ont été introduits par l'auteur, et qui peuvent, au choix du professeur, être plus ou moins développés.

Tout le matériel qui sert de support à l'expérimentation par les élèves eux-mêmes a été construit par l'auteur et répliqué pour un travail par groupes de deux ou trois. Quelques indications techniques sont données en annexe. Notons que les effets visuels sont d'autant plus contrastés que la salle est plus sombre.

### **Préambule : Propagation rectiligne et vision**

Une première séance, d'environ deux heures, est consacrée à des activités s'inspirant de celles décrites par W. Kaminski dans sa séquence d'optique élémentaire [Kaminski 89]. Elles permettent de rappeler ou d'expliciter certaines propriétés de la lumière, telles que la propagation rectiligne en l'absence d'obstacle, la nécessité de recevoir de la lumière dans l'œil pour voir quelque chose, que la lumière soit produite ou diffusée par les objets.

Il en va de même pour les expériences sur les ombres qui sont utilisées dans la suite de la séquence comme support pour l'étude de phénomènes colorés.

**Séance n° 1 : Produire et voir des couleurs**

Nous choisissons d'aborder le thème de la couleur grâce aux lumières colorées, sans nous intéresser à leur composition.

Nous proposons une situation expérimentale inspirée d'un article de Jouanisson, où des lumières colorées à l'aide de filtres sont envoyées sur un papier blanc diffusant [Jouanisson 85]. Provenant d'une ou plusieurs sources, elles sont diffusées par la même surface : ce sont les conditions de la synthèse additive.

Cette situation permet d'introduire une analyse simplifiée de la composition d'une lumière et une mise en relation avec la couleur perçue.

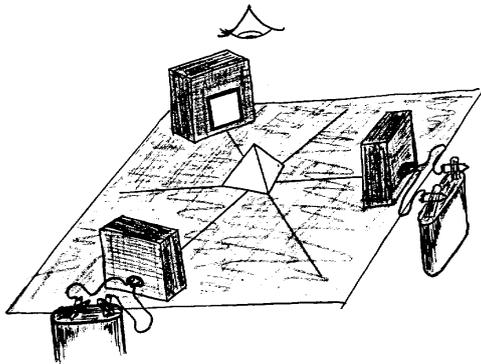
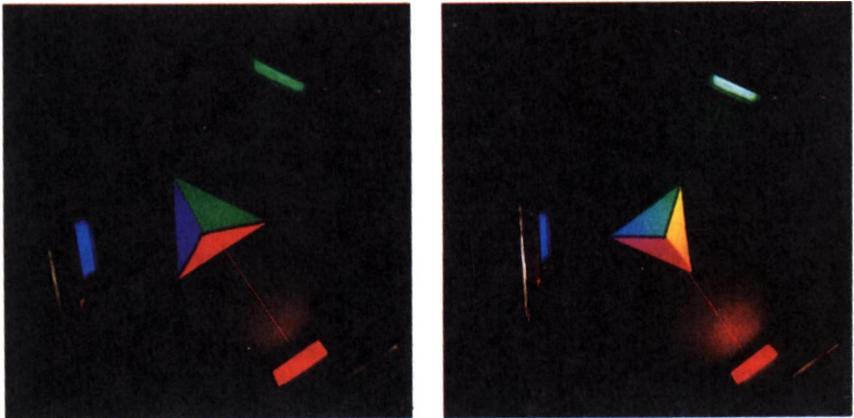


Figure 1

**Encadré 1****PRODUIRE ET VOIR DES COULEURS**

Matériel.

On dispose de quatre sources de lumière blanche, de la lumière colorée peut être obtenue à l'aide de filtres. On dispose de filtres rouge, vert et bleu (RVB) et de filtres cyan, magenta et jaune (CMJ).

On fabrique des objets en bristol blanc, mat et diffusant : un tétraèdre T et une pyramide à base hexagonale H.

Ces objets peuvent tourner autour d'un axe de symétrie vertical passant par O, dessiné sur la base où sont représentées également des directions faisant des angles de  $60^\circ$ .

L'observateur se place à la verticale de O et il peut voir simultanément sur le même fond noir les diverses faces des objets.

**1. Lumières colorées et couleurs observées.****1.1 RVB**

Consigne :

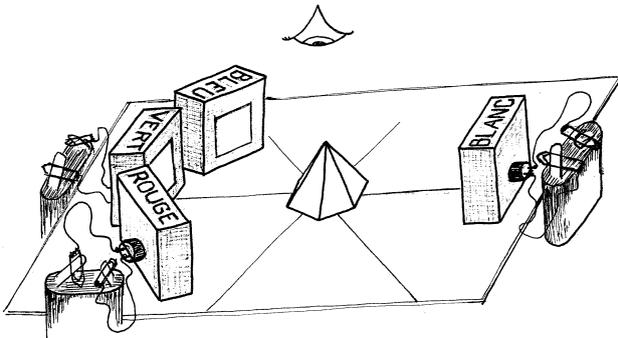
Placer les trois sources pour que chaque face de T soit éclairée de façon uniforme en lumières rouge, verte et bleue et paraissent également lumineuses. Sur le schéma 1, indiquer la position de T et les positions des sources.

Comment changer l'éclairage de chaque face, tout en les maintenant rouge, verte et bleue, c'est-à-dire sans changer la teinte ?

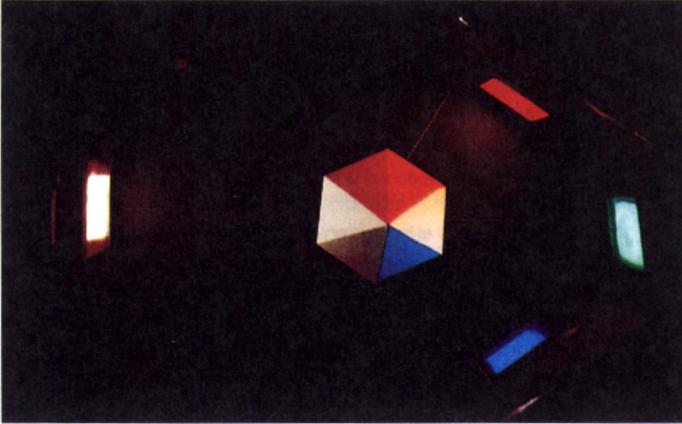
**1.2. Produire d'autres couleurs**

On cherche à produire d'autres couleurs : faire tourner T de  $60^\circ$ . Décrire les couleurs observées sur chaque face et proposer une analyse de la situation en vous aidant d'un schéma.

Quelles lumières reçoit l'observateur, lorsqu'il regarde la face jaune ?



**Figure 2**



## Encadré 2

### 2. Couleurs identiques.

#### 2.1. Consigne :

Avec deux méthodes différentes, il est possible de rendre identiques deux faces de T, par exemple jaune, pour l'observateur toujours placé à la verticale. Utiliser les filtres de votre choix. Réaliser l'expérience.

2.2. Faire un schéma de la situation en précisant les faisceaux lumineux qui parviennent sur chaque face et ceux que reçoit l'observateur.

A quel endroit se réalise l'équivalence des couleurs ? Préciser votre pensée sur le schéma et/ou à l'aide d'un commentaire

#### 2.3. Essayer avec d'autres couleurs...

Noter vos observations et la méthode utilisée pour produire une couleur.

### 3. Lumière blanche.

#### 3.1. Consigne

Mettre la pyramide sur la base et éclairer une face (n°1) avec de la lumière blanche. Eclairer la face opposée (n°4) de telle sorte qu'elle paraisse également blanche, en superposant trois lumières colorées.

Faire un schéma du montage.

Décrire les faces n°3 et n°5. Quels sont les faisceaux qui éclairent chaque face ? Quelles sont les couleurs observées ?

3.2. Avec les filtres dont vous disposez, recherchez les combinaisons de deux filtres qui permettent de rendre identiques les faces n°1 et n°4, (la face n°1 est toujours éclairée en lumière blanche) ? Récapitulez.

De tels couples de lumières colorées sont appelés "lumières de couleurs complémentaires". Proposer une définition générale.

## ***Commentaires***

### *La lumière et ses propriétés*

La situation (encadré 1) se prête à une analyse du trajet de la lumière : source → écran-diffusant-neutre → œil. Plusieurs lumières colorées sont utilisées, chaque trajet peut être identifié, l'objet blanc diffuse toute lumière reçue et les lumières colorées sont juxtaposées jusqu'à leur entrée simultanée dans l'œil.

On peut introduire ici les grandeurs photométriques associées à la quantité de lumière et faire le choix de l'une d'elle, la luminance que l'on met en relation avec la luminosité de la plage. En faisant varier les conditions de l'éclairage de la face, c'est-à-dire en éloignant ou rapprochant la source et en modifiant les orientations relatives des sources et des surfaces diffusantes, on fait varier la quantité de lumière réémise vers l'observateur, c'est-à-dire la luminance de la face.

### *La vision des couleurs*

Cette expérience est l'occasion d'un consensus sur la dénomination des teintes des couleurs ainsi que d'observations sur la vision des couleurs (encadré 1, question 1).

L'œil est placé comme élément du montage, au terme de la chaîne (ici source → objet - diffusant-neutre → œil) : il est le récepteur de lumière.

On souligne le fait que des lumières colorées superposées et arrivant simultanément dans l'œil de l'observateur ne donnent qu'*une seule réponse* (q. 1.2.) :

- «jaune» lorsque les lumières sont rouge et verte,
- «magenta» lorsqu'elles sont rouge et bleue,
- «cyan» lorsqu'elles sont verte et bleue.

L'œil est également utilisé ici comme instrument de comparaison (encadré 2, question 2) : une même réponse perceptive peut correspondre à des compositions différentes de lumières reçues, et ceci quel que soit l'observateur.

### *La perception des couleurs*

Dans l'espace perceptif, la couleur est décrite par le paramètre *teinte*, évoquée par les adjectifs rouge, vert,... (q. 1).

De plus, les caractéristiques géométriques du dispositif sont telles qu'on peut faire varier par des actions simples le deuxième paramètre perceptif de la couleur : la *luminosité*, à laquelle se réfèrent les adjectifs «clair» et «foncé».

### Aspect technique et application

Cette situation est une introduction expérimentale au fait trichrome : trois lumières rouge, verte et bleue, considérées comme fondamentales, permettent la production de toute une gamme de couleurs obtenues par addition. C'est le principe de la synthèse additive.

L'utilisation de la pyramide hexagonale (encadré 2, question 3) est l'occasion d'observer et de définir des lumières de couleurs *complémentaires* par rapport à la lumière blanche : couples de lumières colorées dont l'addition redonne la même impression que la lumière blanche de référence.

En admettant l'additivité des luminances, une couleur quelconque peut être caractérisée par la proportion de chacune des lumières colorées fondamentales. On peut en faire varier la proportion dans la lumière résultante : c'est le principe de production des couleurs par les écrans de télévision et celui du dispositif de réglage des couleurs des logiciels de dessin assisté par ordinateur (DAO) ou «palette graphique».

### Remarques sur le langage

Bien que cette séance ne porte que sur l'addition de lumières colorées, le «rouge» et le «vert» gardent pour nos élèves le sens de pigment rouge et vert. Éviter le terme «*mélange de couleurs*» utilisé par l'AFNOR au sens de «mélange de lumières» et l'expliciter par «*superposition de lumières colorées*» est impératif, cependant cette précaution ne suffit pas pour lever les confusions. Ceci explique, par exemple, que la phrase : «*le mélange de rouge et de vert donne du marron*» soit une affirmation si forte chez nos élèves que certains refusent de voir du jaune lors de l'addition des lumières rouge et verte.

Nous avons éliminé aussi le terme *primaire*, il renvoie à des couleurs différentes, jaune, magenta et cyan, primaires de la synthèse soustractive.

## Séance n° 2 : Ombres colorées

La surprise que produit sur nos élèves cette expérience classique, montrée dans les musées scientifiques, a deux raisons.

D'une part, les ombres y sont colorées de teintes vives en contradiction avec la conception courante de l'ombre noire ou foncée. D'autre part, elle permet d'observer et d'analyser le phénomène perceptif de contraste simultané, étudié au XIX<sup>e</sup> siècle et dont l'explication a été longuement débattue.

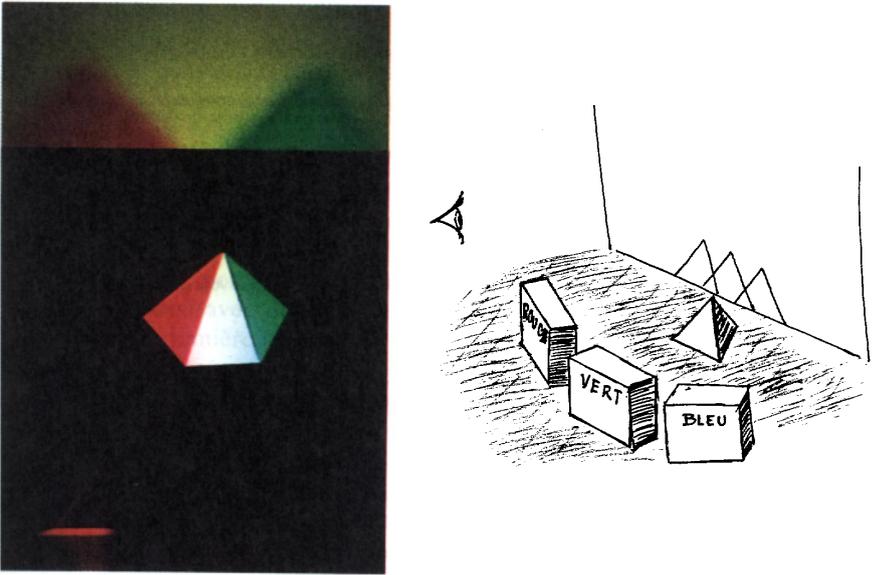


Figure 3

### Commentaires

Les outils conceptuels d'analyse des ombres colorées ont été introduits lors des deux premières séances :

- l'ombre d'un objet sur un écran est l'absence de lumière sur cette plage,
- là où s'ajoutent les lumières colorées, les lois perceptives de l'addition sont connues.

**Encadré 3****Ombres colorées****1. Ombres colorées sur un écran blanc**Prévision

Placer le tétraèdre sur la base et les trois sources (RVB) au voisinage de la perpendiculaire à une face et dans l'ordre rouge, vert, bleu sans les allumer.

On place un écran derrière T à l'opposé des sources et vertical.

1 - Dessiner sur une feuille de papier blanc ce que vous pensez voir :

si on allume la lampe rouge seule,  
si on allume la lampe verte seule,  
si on allume la lampe bleue seule.

2 - Que verra-t-on sur l'écran si on allume deux des lampes ? (rouge et vert par exemple)

Dessiner ce que vous pensez voir en précisant les différentes couleurs et les positions des ombres sur une feuille de papier blanc placée sur l'écran vertical.

Observation : vos prévisions sont-elles vérifiées ? Représenter les différentes combinaisons possibles en les plaçant les unes au-dessous des autres. Interpréter vos observations.

**2. Ombres sur un écran blanc avec trois sources**

Prévision :

Que verra-t-on si on allume les trois sources ? dessiner ce que vous pensez voir (formes, positions et couleurs) en justifiant vos prévisions.

Vérification :

Allumer les trois sources.  
Refaire un schéma (si l'observation ne correspond pas à vos prévisions) et proposer une interprétation de ce qu'on voit.

**3. Ombres et contraste simultané**

Faire une ombre de T avec la lumière rouge et éclairer l'écran avec une lumière blanche.  
Observer la couleur de l'ombre. Pouvez-vous donner une explication ?

La prévision et l'interprétation correctes de l'expérience avec deux sources de lumières colorées nécessitent de raisonner en tenant compte de deux paramètres :

- sur le fond, les lumières colorées venant de sources différentes s'ajoutent, sont diffusées par l'écran et parviennent dans l'œil de l'observateur,
- pour chaque plage correspondant à l'ombre, l'une des lumières arrive alors que l'autre est arrêtée (ou *soustraite par l'obstacle*).

Lorsqu'on allume les trois sources, rouge, verte et bleue, correctement réglées, le fond paraît blanc. Chaque ombre colorée peut faire l'objet d'une double analyse : la plage jaune est celle qui reçoit et

diffuse les lumières rouge et verte, mais c'est aussi celle où *manque la lumière bleue* par rapport au fond qui reçoit les trois lumières.

La lumière jaune est ainsi le résultat de la soustraction de lumière bleue dans la lumière blanche.

**Cette expérience est l'occasion d'exercices de combinatoires additive et soustractive sur les lumières colorées reçues et diffusées par l'écran blanc.**

### *Ombres et contraste simultané*

Lorsque la prévision, l'observation et l'interprétation discutée en groupe a convaincu chacun de la composition de la lumière qui provoque chaque couleur, une observation plus attentive des ombres obtenues, par exemple avec la lumière rouge et la lumière verte, montre que le «rouge» et le «vert» des plages vues sur fond jaune ne sont pas perçus de la même teinte que celle des filtres. Le «rouge» se nuance de bleu et apparaît plus «magenta» et le «vert» apparaît «cyan» (bleu vert).

Cet effet perceptif, souvent qualifié d'illusion, que l'on peut observer aussi avec des lumières de couleurs moins contrastées (par exemple en lumière blanche du jour et avec la flamme d'une bougie), a un caractère général : la composition de la lumière venant d'une plage donnée et reçue par l'observateur ne suffit pas à expliquer la couleur perçue pour cette plage.

Une loi générale de la perception des couleurs peut être énoncée, commune à tous les observateurs humains :

**La couleur perçue d'une forme dépend de la couleur du fond sur lequel elle apparaît : le système visuel induit la couleur complémentaire du fond sur la plage visée [Lindsay].**

### **Séance n° 3 : Analyse spectrale des lumières blanches et colorées**

L'analyse de la lumière blanche ou colorée est faite grâce à l'observation du spectre obtenu avec un réseau. Les fentes sources sous caches-diapo que nous utilisons ont déjà été décrites\*, c'est pourquoi nous n'ajoutons pas d'encadré à ce propos.

---

\* Utrilla J.P., 1988, Que la lumière soit, et la lumière fut, *B.U.P.* n° 703, p. 501-504 ou Goube A. et Legrand J.F., 1987, Couleurs et spectres d'absorption, *B.U.P.* n° 693, p. 509-513.

L'essentiel est de pouvoir faire des observations simultanées du spectre de la lumière blanche de référence et des spectres des lumières colorées utilisées dans les séances précédentes.

L'observation et l'analyse des spectres observés permet d'introduire les notions suivantes.

L'addition des trois spectres de lumières rouge, verte et bleue redonne la lumière blanche, ce qui justifie le découpage simplifié en trois bandes.

La décomposition de chacune de ces bandes larges (ici un tiers du spectre) en bande de plus en plus étroites conduit à la notion de radiation monochromatique, caractérisée par une valeur de longueur d'onde. Chacune d'elle produit sur l'observateur une sensation de couleur différente, qualifiée de couleur spectrale ou pure, allant du violet (400 nm) au rouge (700 nm).

## **Commentaires**

### Le rôle du filtre

En se référant à la couleur perçue lorsqu'une lumière colorée est soustraite de la lumière blanche, le filtre est un objet transparent qui *soustrait* une partie des radiations contenues dans la lumière blanche. La soustraction ici a pour origine le phénomène d'absorption sélective liée à la structure du matériau utilisé.

On peut associer à un matériau transparent coloré une courbe caractéristique : sa courbe de transmission spectrale (facteur de transmission spectrale T(%) en fonction de la longueur d'onde).

### Le fonctionnement de l'œil et du système visuel pour la perception des couleurs

A une bande de radiations (large ou étroite) correspond une seule réponse perceptive. Mais si à un spectre correspond une couleur donnée, la réciproque n'est pas vraie, une même couleur peut correspondre à plusieurs spectres. Ainsi, la perception de jaune peut résulter soit d'une radiation monochromatique, soit de l'addition de deux radiations monochromatiques rouge et verte ou bien encore d'une bande large de radiations allant de 500 à 700 nm.

### Le spectre d'une lumière et la couleur perçue

Un jeu de superposition de filtres de couleurs différentes permet de faire des prévisions qualitatives, en raisonnant sur des soustractions successives de bandes de radiations par rapport à la lumière blanche incidente. La couleur perçue correspond à la bande transmise et reçue par l'observateur.

### La superposition de filtres identiques et la saturation de la couleur

La superposition de matériaux identiques transparents (feuilles teintées pour rétroprojecteur par exemple) sur la même fente source en une, deux, trois et quatre épaisseurs montre que le phénomène d'absorption augmente avec l'épaisseur.

Une seule épaisseur laisse passer la lumière sur l'ensemble du spectre ce qui donne une couleur lavée de blanc, c'est-à-dire *désaturée*. Lorsque plusieurs feuilles sont superposées, la largeur de la bande spectrale transmise diminue en même temps que s'accroît le contraste entre la bande lumineuse et la bande sombre : la couleur perçue est plus pure.

Cette observation permet l'introduction du troisième paramètre perceptif de la couleur : la *saturation*, les deux premiers étant la teinte et la luminosité.

Des adjectifs, tels pur, saturé, lavé de blanc, vif = clair et saturé, pâle = clair et lavé, profond = foncé et saturé, rabattu = lavé et foncé, sont mis en relation avec les spectres observés.

**Les caractéristiques de la couleur perçue sont liées principalement à la composition de la lumière reçue.**

### **Scéance n° 4 : Couleurs des objets opaques**

Pour provoquer un déplacement de la notion de couleur considérée par les élèves comme seule propriété de la matière, tout en prenant en compte leurs connaissances sur le mélange des pigments, nous avons choisi de montrer l'analogie de fonctionnement sur la lumière blanche d'un corps opaque et d'un filtre de même teinte.

Pour cette séance, les élèves disposent de morceaux de filtres colorés utilisés en éclairage de scène, dont les teintes sont choisies très proches de celles des pigments *primaires* de la boîte de peintures.

Les spectres des lumières transmises par les filtres jaune, magenta et cyan ont été caractérisés comme couvrant les deux-tiers du spectre visible. Il en va de même pour les lumières diffusées par les pigments, ce qui peut être observé directement, si on dispose de spectroscopie à main.

Sinon, lorsqu'on superpose les filtres deux à deux et lorsqu'on mélange les pigments deux à deux, on observe les mêmes teintes. Dans chaque cas, la lumière reçue par l'observateur ne comporte plus que le tiers de la bande spectrale visible, ce qui correspond aux couleurs fondamentales rouge, vert et bleu.

Cette équivalence phénoménologique en référence à la perception visuelle amène à proposer un modèle unifié de fonctionnement des corps transparents et opaques :

- la lumière blanche pénètre dans le matériau,
- le matériau transforme la lumière reçue,
- il soustrait totalement ou partiellement une bande de radiations qui lui est caractéristique, c'est l'absorption sélective,
- il diffuse le reste qui est reçu par l'observateur.

**L'analyse spectrale est introduite non pour avoir des informations sur la nature du matériau, mais pour comprendre son action sur la lumière.**

Cette action de soustraire sur la lumière blanche est caractéristique de chaque pigment et peut être traduite par une courbe d'absorption spectrale ( $A = f(\lambda)$ ) ou de réflexion spectrale ( $R = f(\lambda)$ ).

Les lois générales des mélanges de pigments et de colorants sont alors mises en relation avec la composition de la lumière reçue par l'observateur : les mélanges sont moins lumineux que chacun des pigments, la teinte et la saturation évoluent en fonction de la position et de la largeur de la bande spectrale restante après soustraction par chaque pigment du mélange.

Ce sont les lois de *la synthèse soustractive*. On comprend pourquoi les pigments primaires choisis laissent passer deux tiers du spectre, alors que des pigments rouge, vert et bleu, ne laissant passer qu'un tiers du spectre et mélangés deux à deux, donnent une couleur très sombre, proche du noir.

**Encadré 4**

**COULEUR DES OBJETS  
EN LUMIERE BLANCHE ET EN LUMIERE COLOREE**

**1. Ombres sur un écran coloré.**

On éclaire avec une lumière colorée l'objet T placé devant un écran coloré. On compare maintenant la luminosité de la face éclairée de l'objet blanc (T), la luminosité de l'écran et celle de l'ombre de T sur l'écran.

\* Prévisions

a - l'écran est noir, la lumière est rouge

Verra-t-on l'ombre sur l'écran ? oui non

Expliquez

b - l'écran est rouge, on éclaire successivement avec une lumière verte, rouge ou bleue. Dans chaque cas, prévoir les luminosités de l'écran, de l'ombre et de la face de T ?

Lumière	Ecran	Ombre	T
verte			
rouge			
bleue			

Justifiez votre réponse.

\* Vérifications

Faites l'expérience. Notez vos observations et commentez. Un objet opaque transforme-t-il la lumière qu'il reçoit ?

**Séance n° 5 : Couleur des objets en lumière blanche et colorée**

La couleur des objets de notre environnement quotidien, attribuée à l'objet éclairé en lumière blanche, est mémorisée et reste constante indépendamment de la qualité de cette lumière, pourtant variable au cours de la journée.

L'objectif de cette séance est de rendre explicite ce rôle de la lumière blanche, en éclairant les objets avec de la lumière colorée.

L'activité proposée est une prévision de ce qu'on verra, donc nécessite de réinvestir les notions acquises au préalable relatives au concept de couleur.

On insiste ici sur la diffusion par un écran coloré (papier teinté par un pigment ou un colorant) de la lumière colorée de même couleur. Les couleurs des papiers étant peu saturées et la salle d'expériences n'étant pas obscure, nous demandons une analyse en termes de luminosités comparées (clair ou foncé), donc de contraste et non de teinte.

On évite ainsi des réponses justes, mais obtenues avec des raisonnements faux où les couleurs sont ajoutées, comme s'il s'agissait de pigments : par exemple, «Rouge + bleu = violet», si l'écran bleu est éclairé en lumière rouge. Dans les faits, un peu de lumière rouge est diffusée par le papier bleu, de la lumière bleue est également diffusée provenant de la lumière ambiante : le papier apparaît magenta foncé, peu différent du violet.

Éclairés par une lumière rouge, la face avant du tétraèdre et l'écran rouge ont des luminosités fortes, l'ombre du tétraèdre apparaît très sombre : le contraste est fort entre l'écran éclairé et l'ombre. De plus, si l'écran est placé de telle sorte que la lumière diffusée atteint les faces arrière du tétraèdre, ces faces ont également des luminosités fortes.

Au contraire, la lumière rouge, éclairant un écran bleu, est absorbée par le papier bleu, l'écran et l'ombre présentent peu de différence : le contraste est faible. Les faces arrière du tétraèdre ne sont pas éclairées.

\* \* \*

Un autre exercice (encadré 5, figure 4) permet de vérifier si la couleur d'un corps est comprise comme dépendant de la bande d'absorption caractéristique et de la composition de la lumière incidente. Chaque lettre de 1,5 cm environ est découpée dans un papier de teinte le plus saturée possible, absorbant un ou deux tiers du spectre.

La même remarque sur les conditions de vérification nous amène à poser la question en terme : «visible ou non visible», en référence à la lumière diffusée et reçue par l'observateur.

## **Séance n° 6 : Applications**

L'objectif de cette séance est de faire fonctionner les éléments conceptuels et les méthodes d'analyse des phénomènes de couleur dans les applications au dessin assisté par ordinateur, à la photographie ou à l'impression en quadrichromie.

**Encadré 5**

**2. Tableau coloré sur fond noir.**

Eclairé en lumière blanche, on observe sur le tableau noir des objets (lettres) de couleurs Rouge, Jaune, Vert, Cyan, Bleu, Magenta et un rOnd blanc.

• Prévion : que verra-t-on ?

a - si on éclaire le tableau avec de la lumière ROUGE,

lettres visibles : ; lettres non visibles :

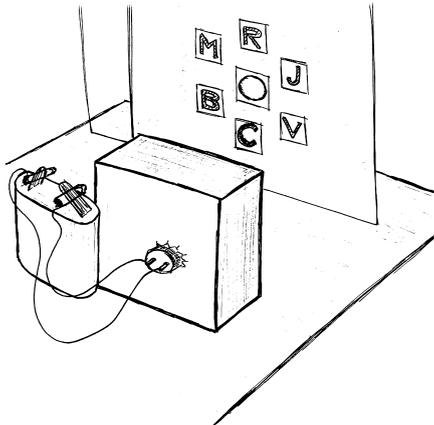
b - même question pour les lumières suivantes :

lumière	lettres visibles	non visibles
VERTE		
BLEUE		
JAUNE		

c - sur un exemple de votre choix, proposez un schéma traduisant la chaîne de transformations subies par la lumière et justifiez votre réponse.

\* Vérifications et conclusions

lumière	lettres visibles	non visibles
VERTE		
BLEUE		
JAUNE		



**Figure 4**

### Systèmes de production de couleurs sur écran vidéo

La manipulation et la modification d'une couleur, se fait selon deux systèmes, lié l'un à l'autre par une transformation linéaire :

– le système «R-V-B», se réfère à la technique de production de couleur par l'écran. L'action sur l'un des trois curseurs module respectivement les quantités de lumière rouge, verte et bleue émises par les trois types de pastilles luminophores tapissant l'écran ;

– le système «H-L-S» est associé aux paramètres perceptifs caractérisant une couleur : la teinte (Hue en anglais), la luminosité (L) et la saturation (S). Le curseur «H», en particulier, permet de balayer la gamme du rouge au vert en passant par les jaunes, du vert au bleu par les cyans, du bleu au rouge par les magentas.

### Impression en quadrichromie

Les étapes du traitement d'un document couleur à reproduire sont analysées (rôle des filtres de sélection, rôle des encres sur la lumière incidente) et donnent lieu à une analyse critique d'un texte de vulgarisation sur ce sujet extrait du journal «Le Monde».

## **6. ÉVALUATION : QUELQUES ÉLÉMENTS**

L'évaluation mise en place actuellement porte davantage sur un diagnostic des obstacles, des difficultés et de leur évolution en cours de séquence, plutôt que sur un bilan des connaissances acquises.

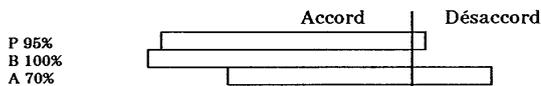
Un questionnaire d'attitude a été distribué en fin de séquence et rempli par 47 élèves. Deux groupes (P, plasticiens : N = 19, B, stylistes : N = 11) ont travaillé avec l'auteur, un troisième (A, stylistes : N = 17) avec une enseignante, novice sur le sujet et avec ce public, ayant accepté de reprendre la séquence dans son ensemble, tant les contenus que les méthodes.

Les réactions des trois groupes ne montrent pas de différences significatives liées à la personnalité de l'enseignant. On a tenu à en faire état ici, car c'est un élément important pour préjuger du caractère transférable de la séquence.

Parmi les éléments d'information que donnent les réponses, nous choisissons les plus significatifs et ceux plus particulièrement en relation avec les objectifs.

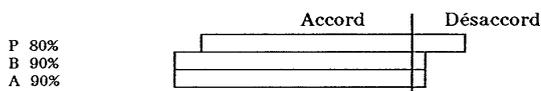
*L'activité, la "façon" de faire*

9. Voir sur quoi on peut agir, lorsqu'on installe la manipulation, motive pour y réfléchir

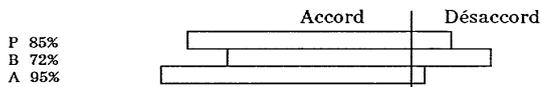


Prévoir et justifier une réponse avant de réaliser une manipulation ou une observation...

11. permet de mieux comprendre, même si la réponse et la justification sont correctes

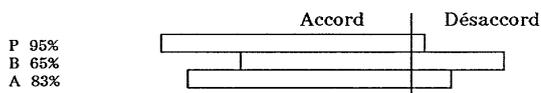


12. si c'est faux (en contradiction avec l'observation) on peut trouver soi-même son erreur et changer de raisonnement

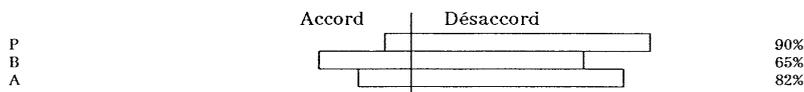


*le sentiment de cohérence*

19. J'ai l'impression d'avoir mis de l'ordre dans mes connaissances sur la couleur

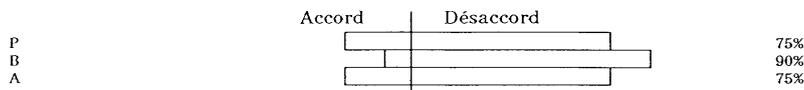


20. J'ai fait des séries de manipulations et d'observations, mais je ne vois pas le fil conducteur de l'ensemble



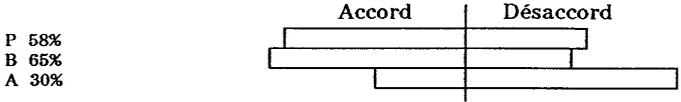
*le sentiment d'avoir appris quelque chose*

23. Je n'ai rien appris de nouveau, mais je n'ai fait qu'utiliser ce que je savais déjà

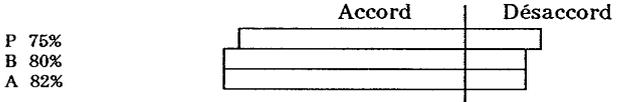


*la difficulté d'extraire une conclusion et de sa rédaction*

10. Conclure devant une expérience est très difficile, il y a trop de paramètres mis en jeu

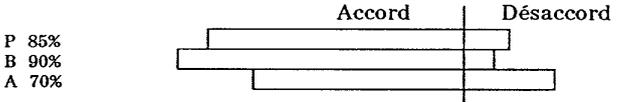


14. La plus grosse difficulté est de formuler ou de rédiger une conclusion générale après une manipulation.



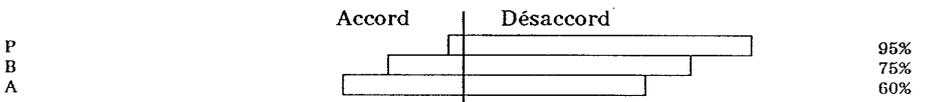
*la confiance en soi, le sentiment de réussite*

18. On m'a imposé un effort de réflexion et je me suis aperçu que je pouvais le faire

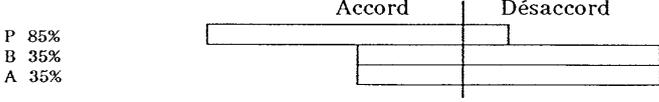


*la possibilité de réinvestir dans d'autres cours*

17. Les situations proposées n'ont rien à voir avec les cours d'arts plastiques ou d'arts appliqués



22. Ce que j'ai appris me sert dans d'autres cours



## 7. CONCLUSION

La démarche proposée dans cette séquence fait une place toute particulière au système visuel de l'observateur. Dans l'interprétation, le rôle de chaque domaine est explicité.

Le découpage, l'ordre d'introduction et les aides proposées sous forme de questions pour l'analyse des phénomènes observés mettent les élèves en position d'être actifs.

De plus chaque étape faisant appel à des outils conceptuels mis en place au cours des séances précédentes, les élèves parviennent à un certain sentiment de réussite.

Le fait qu'on puisse rendre compte d'expériences variées avec peu de lois permet de mettre en évidence la cohérence de la description, et par là de renforcer la confiance en eux des élèves lorsqu'ils abordent de nouvelles situations.

Il a été intéressant de noter que l'adhésion générale recueillie ne soit pas propre au promoteur de la séquence, fait qui permet d'envisager avec plus de confiance une généralisation.

## BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, *Couleurs - colorimétrie*, Paris, 1989.

P. BUSER, M. IMBERT, *Vision*, Paris, Hermann, 1987.

R. JOUANISSON, 1985, «Une expérience pluridisciplinaire : polyèdres et synthèse additive des couleurs», *B.U.P.* n° 676, p. 1351-1360.

Wanda KAMINSKI, 1989, «Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière», *B.U.P.* n° 716, p. 973-991.

P. KOWALISKI, *Vision et mesure de la couleur*, Paris, Masson, 1978.

P.H. LINDSAY, D.A. NORMAN, *Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie*, Montréal, Vigot, 1980.

**ANNEXE : Notes techniques**

- carte à gratter sur laquelle des droites concourantes en O font entre elles des angles de 60° ;
- feuilles de papier canson noir et de couleur ;
- bristol blanc (tétraèdre et pyramide à base hexagonale de hauteur 6 cm environ) ;
- 5 boîtes de disquettes en carton par groupe (parois externes peintes en noir, bristol blanc diffusant à l'intérieur, filtre amovible sur la face avant, ampoule sur la face arrière) ;
- papier diffusant placé devant le filtre (rend la source étendue et permet un éclairage uniforme des surfaces des objets) ;
- petites lampes halogène Osram (4 V, 0,85 A, 40 F environ) donnant une lumière plus blanche et plus intense que celle d'une lampe à incandescence normale, alimentées par des piles de 4,5 V, (ORBITEC Diffusion, 157 rue Ordener, 75018 Paris).
- filtres Jeulin, Kodak ou filtres Lee pour éclairage de scène (distributeurs : Mole Richardson, 95 rue Verdier 92120 Montrouge ou Stéphane Necchi, 13 rue Duperré, 75009 Paris) ;
- les lettres du tableau coloré sont découpées dans du papier blanc et recouvertes de Letrafilm coloré adhésif (matériel de graphistes) ;
- pigments primaires : gouaches jaune, magenta et cyan.

Les sources sont placées entre 10 et 20 cm de l'objet et une modification de la distance doit se traduire par une variation de luminosité.



15 passage de la Main d'Or 75011 PARIS  
Tel. (1) 48.05.31.86

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR

- **une ouverture**

Trait d'union entre chercheurs, industriels, praticiens et utilisateurs de la couleur, il établit des échanges, dans un esprit de synergie, entre différents points de vue : scientifiques, techniques, artistiques, esthétiques et commerciaux, et les applications industrielles correspondantes.

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR

- **une équipe**

Constitué de spécialistes venant de divers domaines formant un réseau sur toute la France, il fonctionne de façon souple selon le contexte, le terrain, le propos.

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR

- **une connaissance partagée**

Ayant pour objectif de contribuer au développement et à la promotion des connaissances de la couleur, il sélectionne le savoir scientifique, technologique et culturel le plus récent et le met à la disposition de ses adhérents par le canal de ses publications et de ses réunions.

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR

- **une formation**

Soucieux de participer concrètement à l'évolution des technologies, il dispense au sein des entreprises et des organismes intéressés des formations adaptées aux besoins particuliers, et met à la disposition de ses adhérents un fond documentaire.

## Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR

### • un observatoire

En étudiant de quelle manière l'environnement et les styles de vie influencent les choix de couleur des consommateurs selon la nature des produits, l'âge, le sexe, la catégorie sociale, le lieu géographique, il propose un véritable observatoire des comportements liés à la couleur.

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR a publié vingt-deux numéros d'une revue «Information Couleur» (pour la plupart encore disponibles), édité les Actes des manifestations qu'il a organisé. Il diffuse actuellement une revue de presse mensuelle réservée aux adhérents.

Le CENTRE FRANÇAIS DE LA COULEUR a été fondé en 1976 par le Professeur François PARRA, Directeur Adjoint du Laboratoire de Physique Appliquée du Muséum National d'Histoire Naturelle. Il est actuellement présidé par Robert SEVE, Docteur-Ingénieur, délégué à la CIE pour les questions de couleur et de vision.