

# Un instrument pour évaluer un état conceptuel : exemple du concept de couleur

Françoise CHAUVET

Université Paris 7 – Denis Diderot  
Laboratoire de Didactique de la Physique  
dans l'Enseignement Supérieur  
Tour 24 - 2 place Jussieu  
75251 Paris cedex 05, case 7021, France.

## Résumé

*Cet article décrit la démarche de construction d'un outil d'évaluation des conceptions et des modes de raisonnement d'étudiants sur le thème de la couleur. L'étude préalable des idées communes et l'observation des réactions des étudiants au cours de l'expérimentation d'une séquence d'enseignement a permis de dégager un nombre limité d'indicateurs (couples «question/élément de réponse») relatifs à la compréhension des aspects multiples de la couleur (physiques, techniques, perceptifs).*

*Pour donner une vision plus globale de l'état des connaissances et des outils conceptuels disponibles, les couples ont été regroupés en familles caractéristiques d'un type de compréhension. La répartition des taux d'occurrence des couples dans une population donnée signe le «profil conceptuel» de ce groupe.*

**Mots clés :** *raisonnement commun, séquence d'enseignement, évaluation, optique, couleur.*

## **Abstract**

*This article describes how a specific tool has been built in order to evaluate students' conceptions and ways of reasoning about colour. After a preliminary inquiry about common ideas and students' reactions during a teaching sequence, it has been possible to find out a limited number of indicators (couples «question / element of answer») which are relevant to understanding the multiple aspects of colour (physical, technical and perceptual aspects).*

*In order to give a more organised view of the state of knowledge and available conceptual tools, couples have been grouped together in «families» that present a relative homogeneity about a type of understanding. Thus a histogram of these couples in a given sample gives a «conceptual profile» of this group.*

**Key words :** *common reasoning, teaching sequence, evaluation, optics, colour.*

## **Resumen**

*Este artículo describe el procedimiento de construcción de un instrumento de evaluación de las concepciones y de los modos de razonamientos de los estudiantes sobre el tema del color. El estudio previo de las ideas comunes y la observación de las reacciones de los estudiantes en el curso de la experimentación de una secuencia de enseñanza, permitió despejar un número limitado de indicadores (parejas «pregunta/elemento de respuesta») relativos a la comprensión de los aspectos múltiples del color (físicos, técnicos, perceptivos).*

*Para dar una visión más global del estado de los conocimientos y de las herramientas conceptuales disponibles, las parejas fueron reagrupadas en familias características de un tipo de comprensión. La repartición de las tasas de ocurrencia de las parejas en una población dada marca el perfil conceptual de este grupo.*

**Palabras claves :** *razonamiento común, secuencia de enseñanza, evaluación, óptica, color.*

## **1. INTRODUCTION**

Quels instruments construire pour évaluer l'état des connaissances dans un domaine donné ? Comment apprécier le degré d'évolution des conceptions des élèves après un apprentissage et, par là, évaluer l'impact d'une séquence d'enseignement ? Ce sont les questions qui se posent après toute intervention. La recherche décrite ici propose un outil spécifique pour l'évaluation des conceptions et des modes de raisonnement d'étudiants après un enseignement scientifique sur le thème de la couleur. Les étudiants concernés, titulaires du baccalauréat, préparent le brevet de technicien supérieur d'arts appliqués.

De manière générale, les objectifs de l'enseignement scientifique dans les sections de techniciens supérieurs consistent « à développer chez les étudiants la compréhension et la connaissance des phénomènes et des lois physiques mis en œuvre dans le domaine professionnel » (BOEN, 1985). Le programme d'optique comporte une partie identique à celle de l'enseignement secondaire (avant que celui-ci n'ait été modifié à partir de 1990) à laquelle s'ajoutent des chapitres techniques, des notions de colorimétrie notamment, orientées vers les applications artistiques. Les liens entre les différentes rubriques sont laissés à l'initiative de l'enseignant : « le professeur [...] cherchera des exemples et applications en liaison avec les enseignements technologiques ». Dans ce cadre d'enseignement, où il faut concilier mise en cohérence conceptuelle et ouverture sur les techniques, le thème de la couleur, que nous avons choisi pour aborder l'optique, apparaît comme un thème transversal qui permet de donner une cohérence à un ensemble de notions diverses et de les articuler avec le contexte culturel et technique des étudiants.

Outre le choix du thème, la deuxième prise de position, qui sous-tend ce travail au plan pédagogique, est de se placer dans une perspective constructiviste au sens large du terme (Driver, 1993). Ceci implique de donner toute leur place aux activités de l'élève, qu'elles soient expérimentales, d'analyse ou de raisonnement. C'est bien sûr une condition minimale pour susciter la motivation des étudiants, mais au-delà, c'est une nécessité pour que les étudiants puissent négocier leur acquis avec leurs idées initiales, et pour que l'enseignant ait accès à celles-ci. Ce dernier point est lui-même décisif à la fois pour l'élaboration d'une séquence aussi adaptée que possible à son public et pour l'évaluation de celle-ci. Ainsi, une enquête préalable, dont nous exposerons les principaux résultats, a orienté le choix des situations didactiques qui structurent la séquence comme le choix de l'ordre d'introduction des concepts et de leur mise en cohérence. Mais c'est grâce à l'expérimentation en situation de classe que la construction de l'outil d'évaluation a pu se faire. En effet, c'est par l'observation précise des réactions des étudiants lors des différentes activités, que nous avons pu spécifier les indicateurs de raisonnement qui nous paraissent les plus pertinents pour l'évaluation. Nous nous attacherons à illustrer cette démarche. Nous montrerons comment nous avons géré la nécessaire multiplicité de ces indicateurs, pour obtenir un outil d'évaluation à la fois multidimensionnel, du point de vue des éléments conceptuels en cause, et maniable, compte tenu des contraintes habituelles de l'enseignement. Les résultats obtenus avec des groupes ayant participé à l'expérimentation et d'autres groupes (témoins) illustreront, en fin d'article, l'apport d'information **qualitative** que génère l'ensemble des résultats **quantitatifs** associés à cet outil d'évaluation.

## 2. ENQUÊTES PRÉLIMINAIRES ET CHOIX POUR LA SÉQUENCE

### 2.1. Un point de vue intégré sur la couleur

Quelques repères historiques peuvent aider à situer le contenu conceptuel. En effet, les connaissances sur la couleur se sont élaborées à la croisée de plusieurs domaines scientifiques. En physique, après les expériences de décomposition et de recombinaison de la lumière blanche à partir de ses différentes composantes colorées (Newton, 1704), ce sont les questions posées par la nature de la lumière qui ont intéressé principalement les physiciens au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle. La théorie ondulatoire a permis de caractériser une radiation monochromatique par une grandeur mesurable, la longueur d'onde  $\lambda$ . Chaque radiation du domaine visible, caractérisée en physique par une longueur d'onde, produit sur l'observateur une sensation donnée de **couleur associée à la longueur d'onde** de la radiation. La connaissance du spectre d'une substance dans le visible, en absorption ou en émission, est une caractéristique intrinsèque de cette substance et permet d'avoir une information globale sur sa couleur. Cependant l'analyse spectrale à elle seule ne permet pas de faire des prévisions sur bon nombre de phénomènes de couleur. En effet, quel physicien peut prévoir par exemple, sans faire intervenir la réponse du système visuel, qu'on voit du jaune sur un écran blanc, là où sont superposés un faisceau laser rouge et un faisceau laser vert ?

Des ponts ont été établis entre physique, physiologie de l'œil et effets perceptifs, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle. Ceci a permis le développement, en parallèle avec la spectroscopie, d'un nouveau domaine de connaissances, la colorimétrie, dont l'objectif est de caractériser la couleur autrement que par le spectre de la lumière. La colorimétrie repose sur l'hypothèse de Young-Helmholtz concernant l'existence de trois types de récepteurs de la rétine (les cônes) et sur les mesures de Maxwell qui ont contribué à quantifier un résultat expérimental, appelé le fait trichrome : presque toutes les couleurs peuvent être reproduites par un mélange de trois lumières seulement. Ces trois lumières sont classiquement un rouge, un vert et un bleu très saturés et constituent les couleurs «primaires» de la **synthèse additive**, l'un des procédés de production de couleurs. Lorsque les couleurs sont produites par le mélange ou la superposition de substances, lesquelles absorbent sur un tiers environ de la bande spectrale du visible, on parle de procédés de **synthèse soustractive**. Les couleurs «primaires» par ce procédé, sont alors jaune (bandes spectrales rouge et verte diffusées), cyan (bleue et verte) et magenta (rouge et bleue). Cette rationalité technique liant physique et vision humaine fonde actuellement la production industrielle

d'objets colorés (imprimerie, textile, peintures utilisent les procédés soustractifs) comme celle des images électroniques (télévision, vidéo, images de synthèse utilisent les procédés additifs).

Par ailleurs, d'autres faits expérimentaux, connus depuis longtemps des artistes, illustrent la complexité de la relation entre stimulus physique et mécanismes de la vision. Ils n'ont reçu que récemment une explication avec l'étude des interactions entre les différentes couches de cellules nerveuses de la rétine (Buser & Imbert, 1987). Ces phénomènes perceptifs, non explicables par des lois physiques et appelés phénomènes de «contraste simultané», sont facilement observables : la couleur perçue d'une plage dépend non seulement de la composition de la lumière venant de cette plage, mais également de celle des plages environnantes.

Ainsi, en se limitant aux données scientifiques et en excluant toute considération culturelle ou symbolique sur la couleur, la compréhension des phénomènes de couleur nécessite d'**intégrer** au minimum des éléments de connaissances provenant des différents domaines que sont la physique, la physiologie de la vision et la psychologie de la perception visuelle (Lindsay & Norman, 1980). La couleur n'est donc pas un concept isolé de la physique. On doit la situer dans un contexte plus large où la part dévolue à l'observateur est aussi importante que celle donnée à la physique. La couleur est considérée, dans cette étude, comme une **réponse perceptive à de la lumière reçue** : l'accent est mis ainsi sur la relation entre la couleur perçue par l'observateur et la distribution spectrale d'énergie de la lumière reçue. C'est donc un domaine conceptuel complexe où les connaissances n'ont pu que récemment être mises en cohérence. Alors que les applications pratiques de la couleur se multiplient, le contenu de l'enseignement scientifique traditionnel se révèle inadapté pour en acquérir la maîtrise.

## 2.2. Les idées des étudiants

Une enquête préalable a été menée, auprès d'étudiants auxquels est destinée la séquence, au moyen d'un questionnaire papier-crayon (N = 60) et d'une dizaine d'entretiens semi-directifs par petits groupes devant montage expérimental. Cette enquête, dont nous ne pouvons ici que rappeler à grands traits les résultats, a révélé un ensemble de difficultés des étudiants. Pour ce public spécifique, les éléments susceptibles d'avoir contribué à ces difficultés sont probablement de deux types : acquis de l'enseignement scientifique préalable d'une part, et connaissances de la vie quotidienne renforcées par la pratique de la peinture, d'autre part.

Ainsi, de nombreuses réponses données par les étudiants sont compatibles avec l'idée d'une association biunivoque entre couleur et

longueur d'onde. À propos de la question portant sur l'arc-en-ciel (*Voit-on toutes les couleurs dans l'arc-en-ciel ?*), de nombreux étudiants évoquent les radiations infrarouges et ultraviolettes comme des «*couleurs invisibles*», une formulation qui exclut le rôle de l'œil dans la constitution du concept de couleur, au profit de la longueur d'onde. Nul doute qu'il s'agisse là de traces laissées par l'enseignement de la physique. Le thème de l'arc-en-ciel y est quasiment toujours lié à l'introduction de la couleur. Et dans les manuels de l'enseignement secondaire qui ont pu servir d'outils aux étudiants, on parle volontiers de la «*couleur d'une radiation monochromatique*» ou de la «*couleur intrinsèque de la lumière*», en privilégiant par ces images les couleurs produites par des distributions spectrales assimilables à une valeur de longueur d'onde, les autres n'étant pas de «*vraies*» couleurs. Ajoutons que les mécanismes de la vision ne sont pas objet d'enseignement et qu'une distinction claire entre la lumière reçue (le stimulus physique) et la perception qui en résulte n'est pas toujours faite. Cette assimilation de la couleur aux seules propriétés de la lumière, point de vue restrictif de «*physicien*», laisse les étudiants sans outil d'analyse pour la plupart des situations techniques de création de couleurs, puisque les couleurs y sont créées par des bandes spectrales larges.

Dans un autre registre de difficultés, on a pu constater que, pour analyser les situations expérimentales mettant en jeu la lumière colorée (pour l'éclairage d'un écran blanc par exemple), les étudiants éprouvent les mêmes difficultés à propos de la diffusion que celles repérées par les chercheurs avec des publics plus jeunes (Tiberghien, 1983 ; Guesne, 1984). Les étudiants se réfèrent aux techniques de synthèse soustractive dont ils connaissent les résultats par leur pratique de la peinture : les termes de couleur y prennent le sens de matière colorée. Le fait de considérer la couleur comme un objet matériel constitue un autre obstacle à la compréhension, allant jusqu'à bloquer l'observation. C'est ce dont témoigne ce dialogue entre deux étudiants, placés dans une salle noire, devant un objet blanc éclairé simultanément avec de la lumière rouge et de la lumière verte, objet où s'observe un jaune vif :

*Qu'est-ce que vous voyez ?*

*Alain : Ça tend vers l'ocre... c'est pas ocre mais ça tend vers le marron. Dans les mélanges picturaux, **en principe**, le rouge et le vert mélangés deviennent généralement une couleur marron.*

*Élodie : En pratique... **Moi je vois du jaune.***

*Alain : Un jaune ?... du dessus, on ne voit pas du jaune, **je vois du marron**, y'a peut-être un problème ?... le problème, c'est qu'il y a deux couleurs superposées...*

*Élodie : Mets-toi en face.*

*Alain : Du dessus je ne vois pas du jaune, **de face... je vois du jaune.** (Entretien n° 4, Élodie / Alain)*

Bon nombre d'étudiants ont ainsi beaucoup de difficultés dans une analyse physique des situations de couleur. Ils se réfèrent plus volontiers à des règles mémorisées, adhérentes à la situation d'apprentissage. Le caractère local de leurs connaissances sur la couleur les rend incapables de transfert d'une technique à une autre, de l'addition de lumières à celle du mélange de matières par exemple. Ils ne disposent pas d'outils opérationnels pour une analyse des situations complexes auxquelles ils sont confrontés dans leur formation professionnelle.

### 2.3. La séquence

C'est pourquoi nous avons créé une séquence d'enseignement, décrite en détail par ailleurs (Chauvet, 1993, 1994). D'une durée d'une quinzaine d'heures, elle a été expérimentée dans les contraintes normales de la classe avec différents groupes d'étudiants (N = 200 étudiants environ sur deux ans) par le chercheur et par un autre enseignant. Nous ne rappellerons ici que les grandes lignes de cette séquence. Son but est de faire en sorte que les étudiants s'approprient un modèle simple de la couleur qui intègre des éléments de connaissances relatifs à la physique, aux techniques ainsi qu'aux mécanismes de la vision et de la perception.

Pour que les connaissances puissent être mises en œuvre dans des raisonnements à propos des situations les plus courantes, on insiste sur la mise en relation et sur la cohérence des différents éléments provenant des trois domaines cités. La clef de voûte de cette cohérence conceptuelle est l'idée de «chaîne» de transformation de l'information visuelle véhiculée par la lumière depuis la source jusqu'à l'œil, *via* une éventuelle interaction avec la matière. À cette chaîne de phénomènes correspond une chaîne d'analyse, outil de raisonnement proposé aux étudiants pour prendre en compte l'ensemble des paramètres. À chaque maillon de cette chaîne, se posent les questions relatives à la composition de la lumière, à l'interaction de la lumière et de la matière, à la lumière diffusée ou transmise par la matière et à la réponse du système visuel.

L'ordre d'introduction des concepts, en jouant d'abord sur une déstabilisation, vise à susciter un questionnement des étudiants et à leur permettre d'intégrer leurs connaissances dans un ensemble plus cohérent. Les étudiants travaillent d'abord à dissocier couleur et matière. Pour cela, la séquence commence non pas par une analyse spectrale fine, mais par l'étude de l'addition de lumières colorées (rouge, verte et bleue). Le

découpage en trois bandes du spectre de la lumière blanche est d'ailleurs justifié par les techniques additives de création de couleurs. L'accent est mis d'emblée sur le rôle joué par la lumière qui atteint l'œil et qui transporte dans tous les cas l'information sur la couleur.

Prendre en compte l'absorption sélective de lumière par la matière et donner du sens au terme «synthèse soustractive» qui qualifie les techniques utilisant les mélanges de matières est aussi une difficulté pour les étudiants. Ce n'est qu'après un travail progressif sur la soustraction d'une ou plusieurs lumières colorées arrêtées par un obstacle, où sont mises en relation la composition simplifiée de la lumière et la couleur perçue, que les résultats connus des mélanges de peinture sont interprétés en termes d'absorption.

Le statut des activités expérimentales est celui d'une observation guidée. Comme dans d'autres propositions de séquence en optique (Kaminski, 1991), les activités sont construites autour d'un jeu de questions portant sur des prévisions à propos de phénomènes que les quelques lois physiques déjà introduites suffisent à analyser et dont l'étudiant pourra vérifier lui-même la validité et la cohérence. Ainsi, le dispositif pédagogique met l'accent sur la cohérence d'un minimum de concepts qui se révèlent suffisants pour permettre la maîtrise de questions de synthèse plus complexes, notamment l'influence de la lumière sur la couleur des corps. Par ailleurs, la séquence permet une observation fine des étudiants et donne des indications pour caractériser, à un instant donné, les outils conceptuels dont disposent les étudiants et en évaluer la disponibilité dans divers domaines techniques.

### **3. CONSTRUCTION DE L'INSTRUMENT D'ÉVALUATION**

#### **3.1. Principes généraux**

Pour évaluer l'«état» conceptuel des étudiants après l'enseignement, nous avons construit un questionnaire papier-crayon (voir annexe 1) dont la durée de passation est d'une heure environ. Ce questionnaire comporte un ensemble de huit questions de types différents, en relation avec les objectifs principaux d'intégration et de mise en cohérence de connaissances d'origines diverses sur le thème de la couleur. Nous cherchons à identifier dans les réponses les maillons de la «chaîne» de transformation évoquée plus haut (émission par la source, interaction lumière et matière, réception par l'œil) considérés par les étudiants dans leurs raisonnements et sous quelles modalités ils le sont.

Dans cette recherche, on se garde bien de conclure à partir des réponses des étudiants à une seule question. En effet, la signification que prend un commentaire donné, pour l'enquêteur, dépend beaucoup de la question qui l'a fait surgir (Viennot, 1994b). Ce point sera illustré plus loin. En particulier, pour notre étude, la multiplicité des domaines de référence (techniques, physique, perception) conduit à ouvrir l'éventail des questions. Ainsi, il est intéressant de voir si un élément d'argumentation donné apparaît plus volontiers avec une question de type technique ou une question liée à l'enseignement traditionnel de la physique. C'est pourquoi nous avons retenu comme outil pertinent d'analyse un ensemble de couples «élément de réponse / question». Toutefois on risque d'aboutir ainsi, sur un large éventail de questions, à une multiplicité de couples dont la structure et le sens ne sont pas donnés. D'autre part, faire l'hypothèse d'une cohérence dans la pensée des étudiants amène à rechercher une certaine communauté de points de vue à travers l'analyse de situations parfois très diverses. Cette cohérence des productions des étudiants fait d'ailleurs écho à l'un des objectifs de la séquence, celui d'un changement conceptuel appuyé sur une multiplicité de situations. Nous avons donc cherché à définir des sous-ensembles de couples (ou «familles») sur lesquels *a priori* les étudiants ont le plus de chances de se montrer cohérents. Si cette cohérence est limitée à l'un de ces sous-ensembles (cohérence locale), on peut la retraduire par l'existence d'un type de compréhension «marquée» d'une manière ou d'une autre. Plus largement, la répartition des taux d'occurrence des couples «élément de réponse / question» dans une population donnée signe en quelque sorte un «profil conceptuel» de ce groupe.

### **3.2. La sélection de couples «élément de réponse / question» : l'importance des observations préalables**

Les exemples suivants illustrent la démarche de sélection des couples, appuyée sur les observations préalables. Au cours de l'expérimentation, à propos de la question intitulée «addition de lumières rouge et verte» (*Au cours d'un spectacle, on projette au même endroit d'un décor blanc un faisceau de lumière rouge et un faisceau de lumière verte. a) Qu'observe-t-on, là où les faisceaux se superposent ? b) Où se crée cette couleur : dans l'espace où les faisceaux se rencontrent, sur le décor, dans l'œil de l'observateur (sur la rétine), dans le cerveau de l'observateur ?*), on a pu observer que la reconnaissance du rôle de l'œil et du cerveau va de pair avec une prise en compte de la composition simplifiée de la lumière, de la diffusion par l'écran blanc, de l'entrée de la lumière dans l'œil et donc de la couleur envisagée comme réponse perceptive. On peut s'interroger au vu de cette question, et se demander s'il y a une grande différence entre celui

qui répond que la couleur s'est créée dans l'œil et celui qui choisit la réponse «espace» ou «décor», ou s'il s'agit de subtilités verbales. C'est l'observation qui permet de trancher sur ce point. Dans une phase qui favorisait l'expression des étudiants, des schémas très explicites sur les liens que les étudiants établissent entre les différents éléments de la chaîne d'analyse (figure 1) sont toujours associés à la formulation verbale correspondante. Il est donc peu probable qu'une compréhension complète aille avec une réponse verbale non appropriée et inversement. Aussi nous considérons comme traduisant deux points de vue distincts les deux couples suivants (les numéros renvoient à la liste récapitulée en annexe 2) :

- le jaune se crée seulement sur le décor ou dans l'espace / question «addition de lumières rouge et verte» (couple n° 20) ;
- le jaune se crée dans l'œil ou le cerveau / question «addition de lumières rouge et verte» (couple n° 5).

2. Au cours d'un spectacle, on projette au même endroit d'un décor blanc un faisceau de lumière rouge et un faisceau de lumière verte.

Question      b) Où se crée cette couleur ?

dans l'espace où les faisceaux se rencontrent

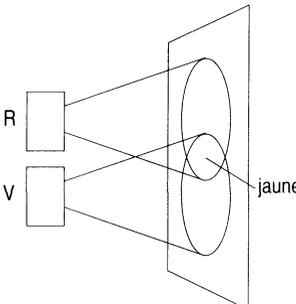
sur le décor

dans l'œil de l'observateur (sur la rétine)

dans le cerveau de l'observateur

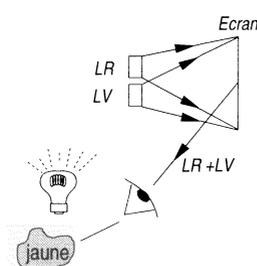
Commentaire et/ou schéma :

réponses typiques  
obtenues au cours de  
l'expérimentation



dans l'espace où les faisceaux se rencontrent

sur le décor



dans l'œil de l'observateur (sur la rétine)

dans le cerveau de l'observateur

interprétation      aucune lumière diffusée pas d'œil      composition simplifiée lumière diffusée par l'écran, entrant dans l'œil et couleur perçue

couples retenus      n° 20 : «espace» / «décor»      n° 5 : «œil» / «cerveau»

Figure 1. Question 2. b) «addition de lumière rouge et verte» : réponses typiques et sélection de couples

Il reste à vérifier si ces mêmes aspects de compréhension s'étendent ou non à des questions de types différents.

### 3.3. Une hypothèse sur les cohérences partielles : la constitution des familles de couples

Toutes les questions sont *a priori* construites pour vérifier le niveau de maîtrise de l'idée de «chaîne» d'information transportée par la lumière, y compris la prise en compte de l'œil, certaines questions vérifiant mieux que d'autres ce niveau de maîtrise. Ainsi, à la question portant sur l'éclairage de corps colorés avec des lumières colorées de composition connue (figure 2), l'observation au cours de la séquence a montré qu'une réponse correcte en termes de couleur (couple n° 11) s'appuie sur une structuration et une maîtrise de l'ensemble des éléments conceptuels à propos de la «chaîne». Au contraire, on a observé que les réponses fausses sont données sur la base de connaissances techniques inadéquates dans cette situation (couple n° 15) : les règles du mélange des couleurs évoquées dans ces réponses ne s'appliquent pas à l'addition de la couleur de la lumière à la couleur de la matière. Une telle argumentation qui privilégie l'association forte entre couleur et matière au détriment d'une analyse complète de l'interaction entre lumière et matière, peut être rapprochée du couple n° 20 (choix du «décor» ou «espace») et classée dans une même famille. Dans les deux cas, un point de vue que nous qualifions de «technicien», se traduit par des réponses manifestant à la fois des connaissances techniques et des difficultés persistantes dans une compréhension plus intégrée.

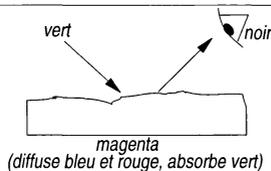
Question	<i>Si on place un filtre vert devant une source de lumière blanche, de quelle couleur paraîtra un objet magenta ?</i>		
réponses typiques des étudiants	magenta + vert = blanc	magenta + vert = marron	
interprétation	comme pour un mélange de lumières colorées	comme pour un mélange de peintures	soustraction par le filtre, soustraction par l'objet lumières diffusées (ou non) couleur perçue
	utilisation inadéquate de règles de mélange de couleurs		réponse correcte = raisonnement correct
catégorisation du couple	n° 15 : compétence technique inadaptée		n° 11 : maîtrise de la «chaîne»

Figure 2. Question 6 «couleur des corps» : réponses typiques et catégorisation des couples

Mais ces regroupements de couples, sous-tendus par l'hypothèse d'une même compréhension de la couleur par l'étudiant, ne vont pas toujours de soi. Certaines questions provoquent une véritable rupture dans la cohérence des réponses. Ainsi, si à propos de la question «addition de lumières rouge et verte», des étudiants semblent comprendre la couleur comme une réponse perceptive à de la lumière, d'autres questions devraient faire émerger chez eux cette même prise de conscience du rôle de l'œil et du système visuel. À la question «arc-en-ciel» déjà citée plus haut (*Voit-on toutes les couleurs dans l'arc-en-ciel ?*), la réponse serait alors : «Non, certaines couleurs sont obtenues par un mélange de radiations. Par exemple, le mélange de radiations rouges et bleues qui donne le magenta n'est pas vu dans l'arc-en-ciel.» Cette réponse reste très minoritaire, y compris dans les groupes qui ont massivement accepté le rôle du système visuel dans la question «addition de lumières rouge et verte». Ce fait suggère que, dans l'esprit des étudiants, la question «arc-en-ciel» est fortement associée au contexte du cours de physique et à la description du spectre des radiations électromagnétiques, où couleur et longueur d'onde sont facilement confondues, comme l'a montré l'enquête préliminaire. Une réponse qui fait intervenir l'œil à la question sur l'arc-en-ciel nécessite une compréhension très complète des phénomènes de couleur, et ne prend pas le même sens qu'un choix mentionnant l'œil dans la question «addition de lumières rouge et verte». On constate, pour cette question «arc-en-ciel», que les couples qui apparaissent avec des fréquences significatives sont ceux qui traduisent des compétences limitées à un seul domaine, celui de la physique.

Ces deux exemples illustrent bien ce que nous disions dans les principes généraux. La recherche de cohérences partielles, guidée par les observations préalables, nous a conduit à regrouper les 22 couples retenus (voir annexe 2) en quatre «familles» donnant chacune des indications de compétences *a priori* d'un type homogène, soit signant une compréhension spécifique à un domaine (physique, technique ou perception), soit relatives à la maîtrise de l'ensemble des éléments conceptuels («chaîne»). De plus, dans cet ensemble, deux sous-groupes ont été faits : d'une part les couples qui présentent des aspects «positifs» du point de vue des objectifs de la séquence et, d'autre part, ceux qui présentent des aspects «négatifs» ou limités. Les aspects «positifs» donnent ainsi des indications à la fois sur le niveau de compétences domaine par domaine (couples 1 à 2 : physique, couples 3 à 4 : technique, couples 5 à 7 : perception) et sur la maîtrise des éléments conceptuels relatifs à la «chaîne» (couples 8 à 12), tandis que les aspects «négatifs», de façon complémentaire, confirment la persistance des obstacles et les difficultés liées à un point de vue limité de «physicien» ou de «technicien».

## 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Outre une observation détaillée de multiples épisodes du déroulement de la séquence, l'évaluation de notre séquence met en œuvre des éléments quantitatifs portant sur des comparaisons de groupes. Certains ont permis une évaluation interne par des comparaisons avant/après que nous ne développerons pas ici. Par ailleurs, notre souci a été de rechercher des **effets différentiels laissés dans le long terme** par la séquence par rapport à des enseignements traditionnels. Une évaluation externe, à l'aide de comparaisons entre groupe test et groupes témoins, a été menée un an après l'enseignement. Les groupes choisis sont équivalents par les cursus antérieurs des élèves, par leurs choix professionnels dans le domaine de l'architecture et par les intitulés des programmes de physique de ces classes. Si l'un des groupes témoin (C1) est strictement identique au groupe test sur l'ensemble des enseignements reçus (physique et enseignement professionnel), l'autre groupe témoin (C2) a bien reçu le même enseignement de physique, mais l'enseignement professionnel diffère : visant un diplôme de métier d'art, les étudiants du groupe (C2) sont plus centrés sur les techniques de réalisation que ne le sont les étudiants des deux autres groupes.

Pour cette évaluation quantitative, nous avons utilisé la technique de «profil conceptuel». Après avoir constitué des couples comme cela a été expliqué plus haut, leur taux d'apparition a été relevé. Pour un groupe d'étudiants, les taux d'apparition de chaque couple sont donnés en pourcentages de l'effectif du groupe (5% représente environ un individu, les effectifs des groupes variant de 14 à 18) et ceux d'une même famille sont rapprochés. On obtient ainsi un histogramme qui permet de visualiser le «profil conceptuel» de ce groupe.

Sur la figure 3, apparaissent les «profils conceptuels» des trois groupes pour les seuls couples «positifs». Les taux élevés d'occurrence des couples correspondants montrent que l'un des groupes témoin (C1) se révèle plus influencé par les aspects de la couleur relatifs à la physique en même temps qu'aux aspects visuels ou perceptifs. Au contraire les taux d'occurrence des mêmes couples sont faibles pour l'autre groupe témoin (C2), tandis que des taux d'occurrence élevés montrent que ce sont les aspects techniques qui ont été privilégiés. L'un des groupes manifeste un profil plus «physicien» tandis que l'autre apparaît plus «technicien». On peut penser que le profil plus «technicien» du groupe (C2) reflète l'importance de l'enseignement pratique dispensé en dehors de l'enseignement de physique. Cette différence de profil est confirmée par les couples correspondants à des aspects de réponses «négatifs», c'est-à-dire traduisant une compréhension impropre ou limitée des phénomènes de couleur.

En revanche, le groupe test manifeste des compétences équivalentes sur chaque domaine spécifique relatif à la couleur, chaque fois avec des taux aussi élevés que ceux des groupes témoins les plus compétents. En ce sens, le groupe test présente un profil plus «intégré» que les groupes témoins. De plus, c'est seulement dans le groupe test qu'un tiers des étudiants est capable de raisonner avec l'ensemble de la chaîne conceptuelle dans une situation complexe, manifestant sans aucun doute une compréhension dans le long terme. Ce résultat, modeste certes, montre que le choix d'intégration et de mise en cohérence des différents aspects de la couleur n'a rien fait perdre, sur aucun domaine spécifique, aux étudiants qui ont suivi la séquence. Il met en évidence le caractère opératoire de l'outil de raisonnement qu'est la chaîne d'analyse proposée sur un ensemble large de questions, y compris des questions relativement complexes.

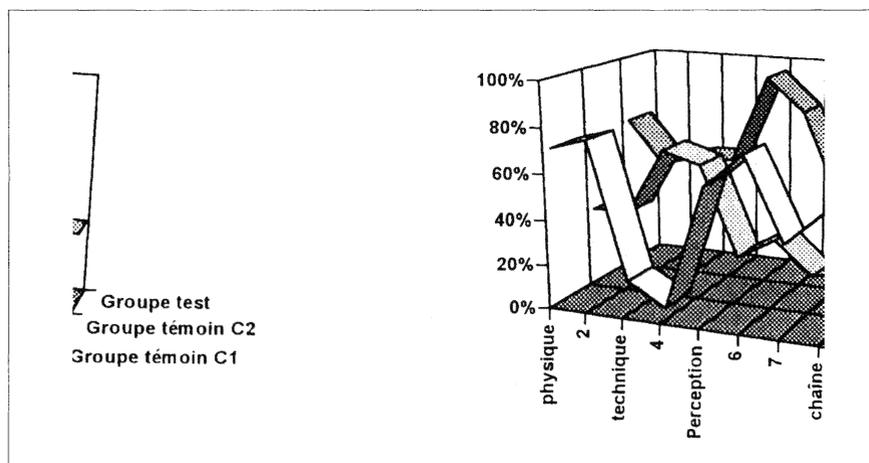


Figure 3. **Profils conceptuels des groupes de l'évaluation externe (aspects positifs de réponses).**

Par le regroupement des couples en familles, l'instrument d'évaluation donne pour une population donnée une vue synthétique des niveaux de maîtrise conceptuelle selon les domaines. Il fait également apparaître, pour chaque groupe, un profil bien typé, manifestant la cohérence d'un point de vue dominant sur la couleur. L'outil d'évaluation se révèle ainsi pertinent pour caractériser l'état conceptuel de groupes d'étudiants sur ce thème spécifique. Il peut être proposé pour une utilisation aussi bien avant qu'après un enseignement.

## CONCLUSION

La construction de cet outil d'évaluation d'un état conceptuel sur la couleur fait suite à une double démarche : celle de l'élaboration d'une séquence et celle de son observation en situation de classe. La construction de la séquence elle-même s'est appuyée sur une définition rigoureuse du contenu conceptuel et sur une attention particulière portée aux idées et aux modes de raisonnement des étudiants. Devant les situations construites pour l'apprentissage, on a pu observer les étapes comme les difficultés persistantes des étudiants pour analyser les phénomènes de couleur. C'est sur cette observation fine en cours d'enseignement que s'est appuyé le choix des couples pertinents pour caractériser le point de vue adopté par l'étudiant devant un problème donné de couleur.

À travers les profils conceptuels de groupes d'étudiants, données qualitatives et données quantitatives se sont combinées pour fournir une vision plus globale de l'état des connaissances et des outils conceptuels disponibles.

L'instrument d'évaluation a permis de vérifier sur nos étudiants la plus grande efficacité d'une organisation conceptuelle en termes de chaîne proposée pour l'analyse physique de situations techniques se rapportant à la couleur, et d'en apprécier les effets sur le long terme. Il donne, d'autre part, la possibilité de dresser un état des lieux, avant ou après un enseignement sur la couleur, pour des groupes quelconques.

Plus généralement, la liste des indicateurs retenus et leurs justifications constituent un instrument pour la formation des enseignants sur un champ de connaissances peu défriché. Ce travail devrait également contribuer à préciser les objectifs et les limites d'un enseignement qui aborderait ce thème, comme c'est déjà le cas pour les nouveaux programmes de quatrième où la couleur sert d'outil pour introduire la diffusion de la lumière (Viennot, 1994 a).

Enfin le principe même de cette méthode d'évaluation, qui est de combiner analyse qualitative et analyse quantitative pour définir les observables pertinentes à propos d'un enseignement donné, pourrait sans doute utilement s'employer pour d'autres domaines conceptuels et contribuer à un meilleur contrôle de nos expérimentations didactiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1985). Classes de technicien supérieur. *Bulletin officiel*, n°18 du 2 mai 1985, p. 1425. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- BUSER P. & IMBERT M. (1987). *Vision*. Paris, Hermann.
- CHAUVET F. (1993). Conceptions et premiers essais d'une séquence sur la couleur. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 750, pp. 1-26.
- CHAUVET F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur de la couleur intégrant sciences, technique et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*. Thèse, Université Denis Diderot-Paris 7 (LDPES).
- DRIVER R. (1993). Constructivist perspectives on learning science. In P.L. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education : Proceedings of the first PhD Summerschool*. Utrecht, CDB Press, pp. 65-74.
- GUESNE E. (1984). Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière. In *New Trends in Physics Teaching*, vol. IV. Paris, UNESCO, pp. 179-192.
- KAMINSKI W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse, Université Paris 7 (LDPES).
- LINDSAY P.H. & NORMAN D.A. (1980). *Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie*. Montréal, Vigot.
- NEWTON I. (1704). *Traité d'optique* (Optics, 1704), trad. P. Coste, 1722, fac-similé publié en 1955. Paris, Gauthier-Villars.
- TIBERGHIE A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans. In G. Delacote & A. Tiberghien (Dir.), *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international d'été, La Londe les Maures*. Paris, CNRS, pp. 125-136.
- VIENNOT L. (1994a). Recherche en didactique et nouveaux programmes d'enseignement : convergences. Exemples du programme de physique de quatrième (grade 8) 1993, en France. *Didaskalia*, n° 3, pp. 119-128.
- VIENNOT L. (1994b). A multidimensional approach in characterising a conceptual «state» in students : the role played by questions. In *European Research in Science Education : Proceedings of the second PhD Summerschool*. Thessaloniki.



### Question 5 : «filtres et pigments»

On superpose deux filtres avant l'objectif d'un projecteur de diapositive et on mélange deux pigments sur un support blanc. Le pigment 1 et le filtre 1 sont choisis de même couleur, ainsi que le filtre 2 et le pigment 2.

Observe-t-on les mêmes couleurs sur l'écran et sur la plage peinte ?

oui            non            ça dépend des couleurs choisies            je ne sais pas

Justifiez votre réponse :

### Question 6 : «couleurs des corps»

Si on éclaire avec une source de lumière blanche un objet bicolore, il paraît magenta (cette couleur est saturée) et blanc.

a) Si on place un filtre bleu devant cette source de lumière, de quelles couleurs paraîtra l'objet ?

b) Si on place un filtre vert devant cette source de lumière, de quelles couleurs paraîtra l'objet ?

c) Si on éclaire l'objet simultanément avec deux sources, l'une de lumière verte et l'autre de lumière rouge, de quelles couleurs paraîtra l'objet ?

### Question 7 : «synthèses additive et soustractive»

Il existe deux procédés de synthèse des couleurs, l'un est souvent qualifié de «mélange additif» et l'autre de «mélange soustractif». Expliquez la différence entre les deux. Précisez les conditions d'observation en vous aidant éventuellement de schémas.

### Question 8 : «contraste»

Une expérience d'ombre colorée est décrite ainsi : «à la lumière du jour on plaçait un objet devant un mur blanc, on éclairait le tout avec de la lumière rouge, l'ombre portée de l'objet sur le mur apparaissait verte» (ITTEN, *Art de la couleur*).

a) Avez-vous déjà observé le même phénomène ?    oui    non

b) Cette affirmation vous paraît :    vraie    fausse    je ne sais pas

Justifiez votre réponse :

## ANNEXE 2

Couples «aspect positif de la réponse / question»

et familles caractéristiques d'un type de compréhension :

physique : couples 1 à 2 ; technique : couples 3 à 4 ; perception : 5 à 7 ; chaîne : 8 à 12

Aspect de la réponse (résumé)	Question n°
1. Mention de la lumière	1. Arc-en-ciel
2. « <i>Même lumière</i> »	3. Laser
3. « <i>Jaune</i> »	2. a) Addition de lumières rouge et verte
4. Réponses correctes avec mention de la lumière en additif	7. Synthèses additive et soustractive
5. Mention de l'œil ou du cerveau	2. b) Addition de lumières rouge et verte
6. Affirmation vraie	8. Contraste
7. « <i>Phénomène visuel</i> »	8. Contraste
8. « <i>Même lumière</i> »	4. Diffusion et couleur
9. « <i>Même lumière</i> »	5. Filtres et pigments
10. Soustraction (réponse : bleu)	6. a) Couleurs des corps
11. Soustraction (réponse : noir)	6. b) Couleurs des corps
12. Soustraction (réponse : rouge)	6. c) Couleurs des corps

Couples «aspect négatif de la réponse / question»

13. compatible avec adhérence couleur-longueur d'onde	1. Arc-en-ciel
14. inversion procédés additif et soustractif (« <i>filtres soustractifs, donc procédé soustractif</i> »)	7. Synthèses additive et soustractive
15. addition couleur-lumière et couleur-matière	6. Couleurs des corps
16. addition de lumières comme matières (« <i>marron</i> »)	2. a) Addition de lumières rouge et verte
17. addition couleur-lumière et couleur-matière	4. Diffusion et couleur
18. pas de mention de lumière (« <i>palette de couleurs</i> »)	1. Arc-en-ciel
19. lumière vue dans l'espace (« <i>croisement jaune</i> »)	3. Laser
20. pas d'œil (« <i>décor/espace</i> »)	2. b) Addition de lumières rouge et verte
21. « <i>superposition de filtres = addition de faisceaux colorés</i> »	5. Filtres et pigments
22. « <i>faisceaux lumineux comme filtres</i> »	3. Laser