



## LES CONCEPTIONS INITIALES SUR LA FORMATION DES IMAGES

Les programmes de physique-chimie invitent le professeur à tenir compte des conceptions initiales des élèves pour construire son enseignement. Cela revêt deux aspects distincts de la pratique du professeur : **permettre l'expression** des idées initiales et élaborer des contenus d'enseignement qui permettent de **prendre en charge** ces conceptions. Comme il est précisé dans la première partie du présent document sur les conceptions en général, cette prise en charge est corrélée à une analyse des savoirs en termes de **modélisation**.

La deuxième partie du document s'attarde plus spécifiquement sur la formation des images dans le cadre de l'optique géométrique, ce qui oblige à distinguer les représentations au sujet de différents objets d'étude : lumière émise par un objet, rayon lumineux, objet et image optiques, formation des images et effets d'une lentille. En annexe, quelques repères sont donnés au sujet de la perception des couleurs.

Si les idées initiales des élèves s'expriment en situation, la formulation des conceptions initiales est une reconstruction par les chercheurs en didactique effectuée à partir des productions d'élèves observées dans différentes situations, en y cherchant en particulier des éléments récurrents et cohérents. Les conceptions ainsi formulées ont peu de chance de l'être en l'état par un élève, tant à l'oral qu'à l'écrit. Pour faciliter la lecture, certaines conceptions sont formulées dans le présent document par une simple affirmation. Ces affirmations, souvent incorrectes du point de vue de la physique, sont exprimées en italique.

### *Quelques généralités sur les conceptions*

Depuis une quarantaine d'années, les recherches sur l'apprentissage des sciences se sont intéressées aux connaissances que les élèves utilisent lorsqu'ils sont sollicités pour résoudre des problèmes ou pour interpréter des situations variées, relevant de la vie quotidienne ou de l'enseignement des sciences. Ce n'est pas par hasard que les premiers sujets abordés et maintenant bien documentés relèvent tous de phénomènes « quotidiens » : la mécanique, la lumière, la chaleur, l'électricité puis un peu plus tard le son.

L'objectif est de comprendre comment les élèves raisonnent, à partir de quelles connaissances « initiales », pour adapter au mieux les dispositifs pédagogiques et améliorer l'efficacité de l'apprentissage. Ces connaissances au sens large (éléments de savoir, signification d'un terme, mode de raisonnement...) sont dénommées de diverses façons, dont les nuances de sens ne sont pas l'objet de ce document : *préconception, misconceptions, théorie naïve, idée initiale, raisonnement naïf, conception naïve, modèle tacite, raisonnement spontané ou naïf, conception alternative, raisonnement de sens commun...*

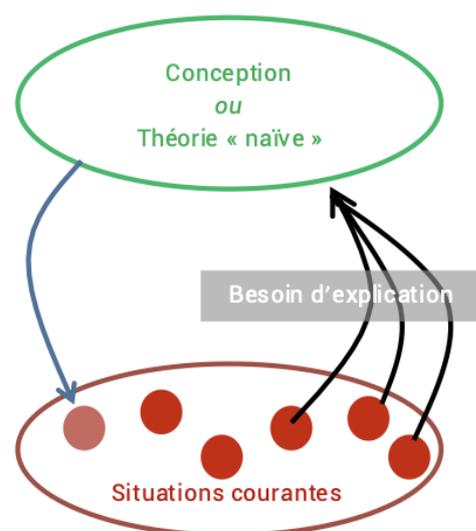
L'hypothèse d'apprentissage sous-jacente relève d'une idée classique (courant du *constructivisme*) : on apprend à partir de ce qu'on sait déjà, l'élève n'est pas vierge de connaissances lorsqu'il arrive en classe. On peut mentionner ici la célèbre citation de Gaston Bachelard qui résume bien ce point de vue.

« Le réel n'est jamais « ce qu'on pourrait croire » mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser. La pensée empirique est claire, après coup, quand l'appareil des raisons a été mis au point. En revenant sur un passé d'erreurs, on trouve la vérité en un véritable repentir intellectuel. En fait, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui dans l'esprit même fait obstacle à la spiritualisation. [...] Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés. Accéder à la science, c'est, spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé. »

G. Bachelard (1938) La formation de l'esprit scientifique, Vrin, pp. 13-14

L'élève a donc des connaissances « antérieures » à son nouvel apprentissage. L'adjectif *initiale* signale une référence à un niveau donné. Une connaissance initiale désigne une connaissance qui concerne potentiellement les mêmes objets d'étude qu'un apprentissage donné et elle peut avoir été apprise quelques années avant grâce à l'expérience commune ou dans le cadre scolaire.

Si les « idées initiales » s'expriment essentiellement *en situation*, elles sont une reconstruction « théorique » à partir des productions d'élèves, et font donc bien partie à ce titre du monde des théories et des modèles. Ces idées sont fondées sur l'observation répétée, sur la signification attribuée à un terme (ou sur sa polysémie, c'est le cas par exemple du mot *image*), sur les métaphores utilisées dans la vie quotidienne (l'expression *faire une mise au point* par exemple est métaphorique) ou sur une représentation graphique particulière (dès son plus jeune âge, un enfant dessine les *rayons du soleil*).



Par induction, et parce que l'être humain a besoin de comprendre ce qu'il observe et ressent, les élèves fondent ainsi dès le plus jeune âge des modèles explicatifs, qui pourront être exploités ultérieurement. Au fur et à mesure des expérimentations quotidiennes, sans que le phénomène ne soit conscient, des idées seront évacuées ou moins fréquemment utilisées car ne correspondant pas aux observations ; d'autres idées peuvent se trouver renforcées par les observations successives. Plusieurs cadres explicatifs peuvent coexister chez un même individu, s'hybrider mutuellement... Ce phénomène de construction/confrontation de systèmes explicatifs reste inconscient mais est suffisamment opératoire pour être à l'œuvre dans des situations d'apprentissage scientifique qui de fait, confrontent au réel et souvent à du réel inédit. Toutes ces idées ne sont pas fausses du point de vue scientifique mais parce qu'elles peuvent l'être, elles imposent au professeur qu'il les connaisse pour faire prendre conscience à l'élève des limites de ses idées, et qu'il existe d'autres modèles qui ont un pouvoir de description et d'interprétation plus large, plus unifiant et souvent plus précis, sans être « ad-hoc » à la situation.

Retrouvez éducol sur



Faire s'exprimer les idées initiales est d'autant plus facile que la situation génère de la surprise (pensons à Tintin dans l'album *L'étoile Mystérieuse* manifestant sa surprise en voyant une araignée bien nette à travers une lunette) : le besoin de compréhension est renforcé. Une conception initiale peut aussi s'exprimer lorsqu'on demande de faire une prévision en la justifiant « à l'aide de ses propres idées » ou d'expliquer une observation. Commencer des questions par « Selon vous », « à partir de vos propres connaissances » peut être un bon moyen d'indiquer à l'élève qu'il peut répondre librement hors de toute évaluation de connaissances ou capacités scolaires.

### *Quelques conceptions classiques sur la formation des images*

Les travaux sur les conceptions en optique géométrique élémentaire et particulièrement sur la formation des images sont nombreux. On trouvera quelques références bibliographiques en fin de document. Comme c'est le cas pour toutes les conceptions, leur manifestation dépend de l'âge, de chaque individu, de son expérience, des enseignements préalables... Il n'est donc pas possible d'attribuer un âge précis à chacune des conceptions mais on peut aisément faire l'hypothèse que ces idées peuvent s'exprimer dans le cadre de l'apprentissage des classes de seconde, de première et terminale. Certaines conceptions peuvent perdurer jusque dans le supérieur.

#### Les rayons « lumineux »

En optique géométrique on décrit le chemin de la lumière par des « rayons lumineux », objets théoriques qui prennent la forme de droites, demi-droites ou segments orientés (tant que le milieu est homogène) sur un schéma. Ce modèle du rayon lumineux ne permet pas de décrire une propriété pourtant importante pour juger de la pertinence du modèle de l'optique géométrique : la longueur d'onde de la lumière décrite.

Si la représentation selon des droites orientées est plutôt intuitive (pensons aux rayons du Soleil des dessins de la prime enfance, en cohérence avec l'observation de la lumière du Soleil dans un ciel chargé de nuages), les conceptions suivantes peuvent s'exprimer à ce sujet :

#### Puisqu'il est lumineux, on peut voir un rayon de n'importe où.

Cette idée est renforcée à la fois par une expérience de classe spectaculaire (poussière sur le passage d'un faisceau laser par exemple), par des photos modifiées comme celle-ci-contre ou par des expériences courantes (salles de spectacles, rayons du Soleil dans une atmosphère brumeuse ou traversant des nuages...), mais elle est induite aussi par la formulation même : quelque chose de *lumineux* est quelque chose qui émet de la lumière... et qu'on voit. Même si elle contrevient à l'usage habituel, une expression telle que « rayons de lumière » aurait l'avantage de signaler que le rayon est une modélisation de la lumière (de son chemin). Pour certains élèves, le rayon lumineux est un objet physique réel (Goldberg et McDermott, 1987, p. 112), et ceci ne permet pas de bien différencier ce qu'il voit de la modélisation des phénomènes qui conduisent à son observation. Les consignes demandant aux élèves de représenter un faisceau de lumière peuvent renforcer cette conception.



CC BY-SA 3.0

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20549607>

### La partie virtuelle d'un rayon est aussi de la lumière.

Dans les constructions faites en optique géométrique, pour le cas d'images ou d'objets virtuels, des tracés de construction (en pointillés) prolongeant les rayons lumineux sont nécessaires. Ce prolongement des *rayons* (que le professeur peut dénommer ainsi pour des raisons de commodités) donne le même statut à ces deux types de tracés : il y aurait donc de la lumière également sur ces tracés en pointillés et on pourrait la mettre en évidence avec des particules diffusantes. On fait face ici à une conception qui peut être construite par l'enseignement lui-même si on n'exerce pas la vigilance nécessaire lors de l'enseignement de la méthode de détermination d'un point image.

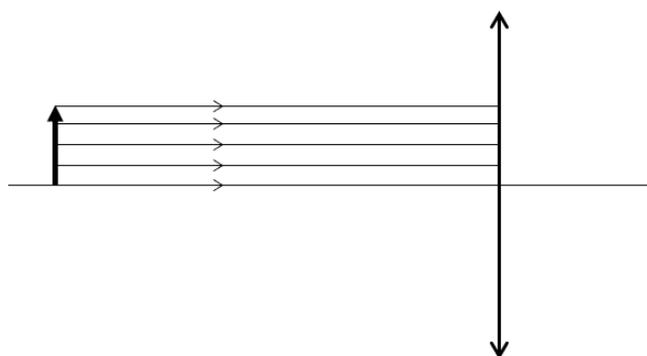
### La lumière issue d'un objet

Dans le modèle de l'optique géométrique, l'objet lumineux relève du monde des théories et des modèles puisqu'il est décomposé en points-sources, et que de chaque point-source part un faisceau de lumière modélisable par une infinité de rayons dans toutes les directions de l'espace. Que ces rayons soient « réellement » émis par l'objet (source primaire) ou qu'ils viennent d'une autre source en étant réémis par l'objet (source secondaire) ne change rien à cette décomposition en sources ponctuelles élémentaires. Remarquons également que l'expression « point-objet » n'a rien d'évident car elle associe clairement un concept relativement théorique (le point géométrique) et un « objet » qui renvoie au monde réel, concret.

Si la conception classique selon laquelle *nous vivons dans un « bain de lumière » dont la propagation s'apparente plus à celle d'un fluide qu'à la propagation rectiligne* concerne plutôt les enfants jeunes, d'autres peuvent se manifester chez des lycéens. Pour des enfants de 12-13 ans, la lumière est un phénomène en tant que tel et elle se propage, en ligne droite le plus souvent.

### Un objet lumineux produit des rayons parallèles qui voyagent à travers l'espace.

Un objet plan étendu serait seulement capable d'émettre un faisceau de lumière parallèle, dans une direction perpendiculaire à l'objet. Le recours à la décomposition en point-objet est ici fondamental. De plus la direction horizontale est souvent privilégiée, ce qui peut être renforcée par la pratique quasiment systématique consistant à faire figurer des objets verticaux perpendiculaire à des axes optiques horizontaux.



## Sur la formation de l'image

Le fait qu'en physique l'image est définie très précisément par l'ensemble des points-images des points-objets composant l'objet lumineux et que, d'autre part, le mot *image* a une utilisation quotidienne très fréquente pose d'importants problèmes dans la modélisation de la formation d'une image optique.

### Image en physique et image dans la vie courante

L'image peut désigner un objet tangible (on peut distribuer des images) sur lequel figure une représentation, dessin ou photographie. Étymologiquement (de *imitor*, reproduire par imitation) une image est ce qui reproduit l'apparence d'un objet, pas forcément présent, sans garder sa taille et en passant à deux dimensions. Pour un jeune enfant, si cette reproduction est familière, le phénomène peut rester mystérieux. Au fur et à mesure de ses expériences (usage d'une loupe, cinéma, vidéoprojecteur, smartphone, appareil photographique), le phénomène de formation d'une image sera de plus en plus documenté pour un enfant sans être toujours davantage théorisé. Il s'agit donc de représenter un objet, pas nécessairement disponible, et l'usage peut même faire de cette image le support sur lequel se situe cette reproduction. La lumière apparaît bien comme un véhicule d'information, mais l'image (souvent synonyme de photo) dans la vie courante peut être floue ou nette, et nécessite un support matériel (sauf dans le cas de la loupe).

### L'image voyageuse et ses déclinaisons

Dans les conditions où le stigmatisme est respecté, on observe une image de même forme que l'objet mais étant éventuellement inversée et, sauf cas particulier, de taille différente de celle de l'objet. Tout semble donc conduire à penser que l'objet a été *transformé*.

La principale conception mise à jour dans ce domaine est classiquement appelée **l'image « voyageuse »** ; elle consiste à penser qu'un objet émet son image comme un tout indissociable. Dès qu'elle a quitté l'objet, cette « image » subirait quelques transformations (changement de taille, retournement...) au cours de sa propagation, transformations dépendant des systèmes optiques rencontrés. Cette conception générale permet d'adopter un raisonnement « linéaire causal » (on raconte ce qui arrive à l'image au fur et à mesure de la propagation de la lumière) moins coûteux cognitivement qu'une approche systémique. Elle est nourrie et renforcée par bon nombre d'événements de la vie courante : au cinéma on devine « l'image » entre le projecteur et l'écran, quand on lit à travers une loupe l'image vient vers nous, on voit plein d'images à l'endroit sans lentille apparente.

Dans le célèbre article qu'ils consacrent aux productions d'étudiants américains de 18 ans environ, Goldberg et McDermott (1987, p. 118) formule cette conception de la façon suivante : « un objet lumineux produit des rayons parallèles qui voyagent à travers l'espace ; lorsque l'image potentielle traverse un système optique, il la modifie en orientation ou en taille, ou lui fournit une surface sur laquelle elle pourra être vue. Le rôle de la lentille est d'inverser l'image ou de modifier sa taille ; le rôle de l'écran est de réfléchir ou de capturer les rayons de sorte que l'image puisse être vue. Une image ne peut être vue dans l'espace indépendamment d'une surface ». Au-delà du cas des lentilles, ces mêmes auteurs indiquent qu'une proportion significative d'élèves pensent, avant enseignement, que l'image par un miroir est localisée sur le miroir.

## Déclinaisons de cette conception générale dans des cas plus spécifiques

### L'image est une propriété de l'objet et est observable partout dans la direction de propagation.

Dans une telle représentation, une lentille peut certes modifier la taille ou le sens de l'objet mais le système optique influence peu l'image vue. L'écran semble jouer un rôle bien plus important. D'ailleurs, le langage courant invite à décrire ce qu'on voit sur un écran qui n'est pas placé à la position de l'image comme une « image » floue, alors qu'au sens de l'optique géométrique on ne visualise pas l'image. Dans certains cas la lentille peut être même perçue comme superflue pour visualiser une image : si on enlève la lentille (voir plus loin), certains élèves prévoient qu'on continue à voir une image sur l'écran mais qu'elle sera juste plus floue (la lentille aurait donc pour effet seulement de la rendre nette) ou qu'elle sera droite. Goldberg et McDermott (1987) indiquent qu'environ les deux tiers des étudiants interrogés sur ce qu'il va se passer si on rapproche l'écran de la lentille pensent qu'on va continuer à voir une image sur l'écran, éventuellement de taille différente. Dans certains dispositifs courants (vidéoprojecteurs par exemple) l'écran peut en effet être situé à différentes positions et le dispositif de mise au point peut rester invisible pour les élèves.



Image, image nette, figure nette ou floue ?

### L'image est partout mais si on veut la voir nette, il faut mettre l'écran au bon endroit.

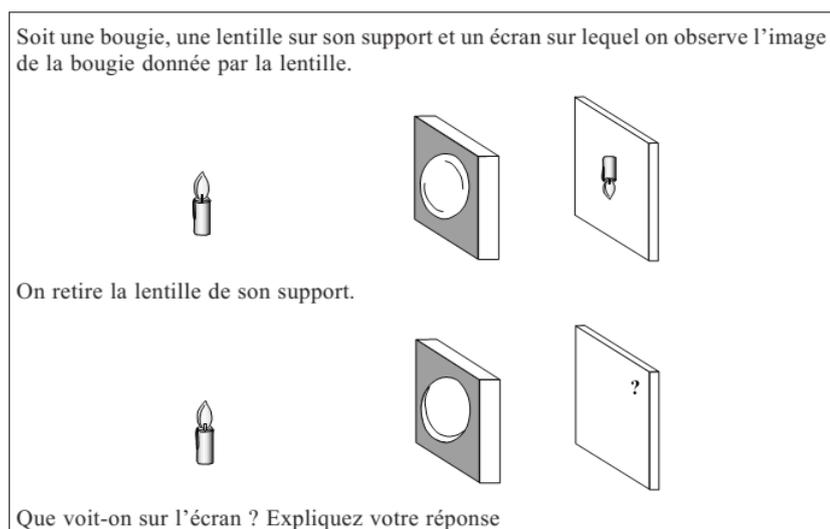
La formulation précédente, plausible dans le langage courant, n'est pas rigoureuse du point de vue de la physique. Dans le modèle de l'optique géométrique, l'expression « image nette » n'a pas réellement de signification. L'image est unique et n'a qu'une position. On voit une *figure nette* si on place, dans le monde des objets et des événements, un dispositif diffusant à l'endroit où est située cette image. Cette difficulté venant de l'usage courant du mot *image* (floue ou nette) devrait imposer de distinguer l'*image optique* (conceptuelle) et la *figure vue* (sur un écran par exemple). Il peut être utile de rappeler dans le cas de la manifestation de cette conception le nouveau sens du mot *image* induit par le modèle de l'optique géométrique et que l'expression « mettre au point » fait bien référence au positionnement de l'écran ou du capteur au point image. Par ailleurs, pour certains élèves une image peut être vue de n'importe quelle position de l'espace, mais seulement à condition d'être derrière la lentille (image réelle).

### Si on n'a plus d'écran, on ne peut plus voir l'image.

Kaminski & Mistrioti (2000) montrent qu'après enseignement, des élèves de collège sont environ la moitié à répondre correctement lorsqu'on leur demande de se prononcer sur la situation suivante : « Une image réelle pour être vue, doit absolument être recueillie sur un écran ou une pellicule photographique ». Mais certains justifient de façon incorrecte une réponse en apparence valide en utilisant par exemple la conception de l'image voyageuse : « si l'image n'est pas arrêtée par un écran la lumière qui permet de voir l'image ne s'arrête pas sur une surface, on ne peut pas la voir ». Même après l'observation qu'on peut continuer à voir l'image à l'œil nu, une grande proportion d'élèves (trois quarts dans le cas de Goldberg et McDermott, 1987) n'indique pas la localisation correspondant à l'écran.

### Si on retire la lentille, on continue à voir une image.

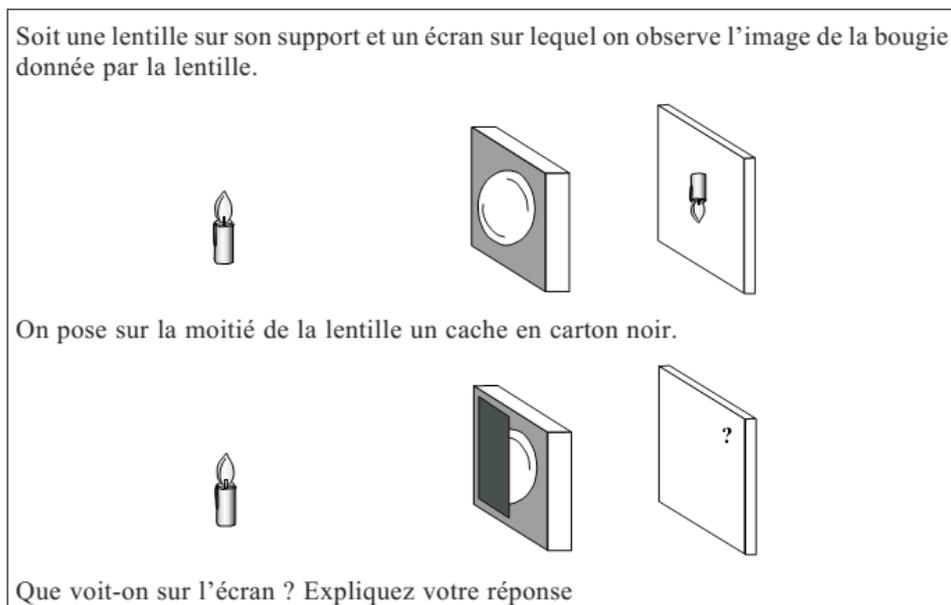
Dans une situation de prévision où l'on enlève la lentille après avoir formé l'image sur un écran (voir figure ci-dessous), une partie importante d'élèves peut penser qu'on va continuer à voir une image. Dans leur étude concernant des élèves de collège après enseignement, Kaminski & Mistrioti (2000) indiquent qu'environ la moitié des élèves font une prévision erronée et que parmi ces élèves la quasi-totalité pense que l'image sera cette fois à l'endroit : « La bougie ne change pas de sens car il n'y a pas de lentille et que la lentille fait croiser l'objet et que quand il n'y a pas de lentille ça reste à la même position ».



Extrait de Kaminski & Mistrioti (2000)

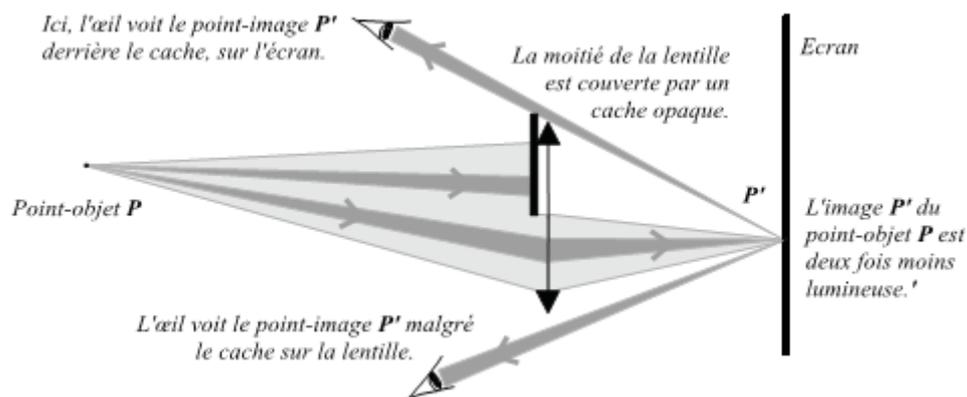
### Un cache placé devant la lentille élimine la partie correspondante de l'image sur l'écran.

Cette idée courante est conforme à la conception de l'image voyageuse : au passage par la lentille, l'image serait tronquée. Certains élèves pensent même que ce n'est pas la même partie de l'image qui est tronquée selon qu'on positionne le cache juste devant ou juste derrière la lentille (entre les deux, l'image s'est retournée...). Cette idée semble conforme avec de nombreuses expériences quotidiennes (si on cache la moitié d'un verre de lunettes, d'une loupe...) : la difficulté est réelle et nécessite d'utiliser la formation des images par l'œil... Il peut être très utile de faire faire la prévision, puis l'expérience pour non seulement faire apparaître cette représentation, la déstabiliser par l'expérience, et enfin l'interpréter par le modèle de l'optique géométrique. Kaminski & Mistrioti (2000) indiquent qu'après enseignement, sur l'échantillon d'élèves interrogés entre 10 et 20 % d'élèves répondent correctement après enseignement, et environ la moitié prévoit encore qu'on ne verra qu'une moitié d'image.



Extrait de Kaminski & Mistrioni (2000), page 777

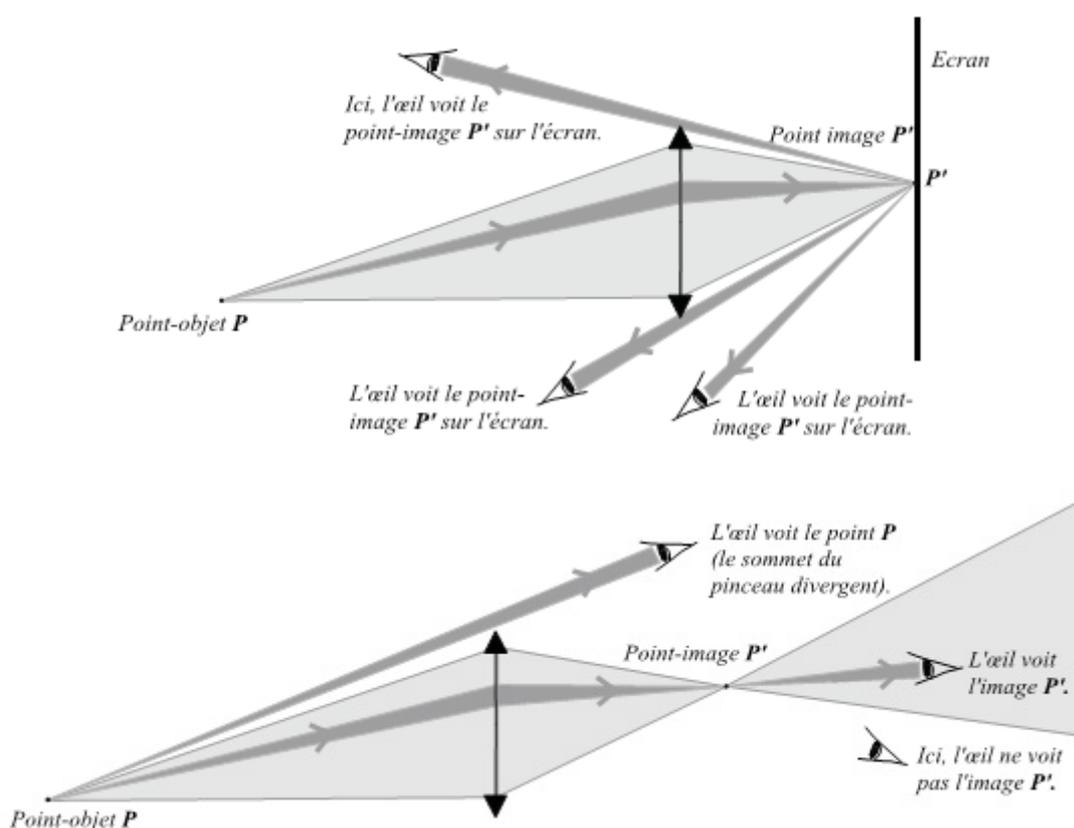
Certaines études (par exemple Ronen et Eylon, 1993) ont montré que l'usage de rayons particuliers lors des constructions pouvait renforcer cette conception. Il convient donc de systématiquement dépasser le tracé des deux ou trois rayons spéciaux et penser la transformation de l'ensemble du faisceau émis par chaque point objet (voir ci-dessous un schéma qu'il convient de préciser comme valide pour l'ensemble des points de l'objet).



Extrait de Kaminski & Mistrioni (2000), page 778

**Il n'y a de la lumière que sur trois rayons. Si l'on intercepte un ou deux de ces trois rayons, il n'y a plus d'image.**

Dans la situation classique de formation d'une image réelle, après apprentissage des règles permettant de déterminer graphiquement la position et la taille de l'image (les trois rayons classiques), certains élèves pensent que la lumière se propage seulement selon ces trois rayons. C'est une idée induite par l'enseignement sur laquelle il faut donc garder une grande vigilance en revenant chaque fois que possible à un faisceau issu d'un point objet, par exemple en traçant un rayon quelconque ou des faisceaux, que ce soit dans des situations avec ou sans écran (voir schémas ci-dessous). Dans le même ordre d'idée, l'attention particulière portée au point objet souvent nommé B (point extrême de l'objet hors de l'axe) peut renforcer l'idée que si l'on cachait B, il n'y aurait plus d'image du tout...



Extraits de Kaminski & Mistrioti (2000), pages 760 et 761

Retrouvez éducol sur



## *Annexe : quelques idées initiales sur les couleurs*

Sont proposées ci-dessous quelques conceptions initiales concernant davantage la perception des couleurs que la formation des images.

### **La couleur d'un objet est une propriété de l'objet, elle ne dépend pas de la lumière qui éclaire l'objet**

Les élèves ont presque toujours observé les objets qui les entourent lorsqu'ils sont éclairés à la lumière du jour ou avec des lampes, c'est-à-dire à peu près dans les mêmes conditions. Les objets ont donc toujours la même couleur, si bien que l'on finit par leur associer cette couleur au même titre que leur forme, leur volume, etc. La couleur devient une propriété intrinsèque et non une propriété de l'interaction avec la lumière source.

Par ailleurs, de nombreuses expressions associent couleur à matière colorée : on colorie en « rouge », en « vert », en peinture on utilise le tube de « rouge », le tube de « jaune ».

#### **Question possible**

Peut-on changer la couleur d'un objet sans le repeindre, ni le colorier ?

### **Le prisme produit des couleurs**

Lors des expériences de dispersion, les élèves observent des lumières de différentes couleurs à la sortie d'un prisme, ces couleurs étant absentes avant le prisme. Certains peuvent penser que le prisme produit de la couleur. Ils attribuent de la même façon cette faculté à un CD, une flaque d'essence, etc.

#### **Question ou activité possible**

Expérience avec deux prismes, on isole un pinceau de lumière colorée à la sortie du premier. La lumière émergeant du second sera-t-elle colorée ?

### **Le spectre de la lumière contient toutes les couleurs possibles**

Les élèves peuvent penser que le spectre de la lumière blanche contient toutes les couleurs observables (il y en a une infinité donc toutes). Or, de nombreuses couleurs ne seront jamais visibles dans le spectre : le beige, le gris, le rose, le marron. Il n'y a donc pas bijection entre longueur d'onde et couleur.

#### **Question possible**

Voit-on toutes les couleurs dans l'arc-en-ciel ? dans un spectre ?

## Confusion entre les points de vue des professeurs de physique et d'arts plastiques

Pour le professeur de physique, on utilise la synthèse additive, pour le professeur d'arts plastiques, la synthèse soustractive, et cela définit les critères de choix des couleurs primaires. En physique, il s'agit de pouvoir reconstituer n'importe quelle lumière colorée à partir de trois lumières de couleurs fondamentales. Le rouge, le vert et le bleu ont été choisis, ces couleurs étant indépendantes (on ne peut obtenir l'une par addition des deux autres). Elles correspondent au maximum de sensibilité des cellules de la rétine mais d'autres combinaisons étaient possibles. Sur l'écran de TV, ces trois couleurs ont été choisies également pour des raisons technologiques. D'autres combinaisons sont possibles.

En peinture, il s'agit d'obtenir n'importe quelle couleur à partir de trois couleurs qui doivent être riches car la couleur perçue résulte d'une synthèse soustractive.

En classe, il convient tôt ou tard d'affirmer que le choix des couleurs primaires dépend ce que qu'on fait avec les couleurs : on les additionne ou on les soustrait.... En particulier, il convient d'être rigoureux sur les mots : on n'utilise pas de peintures rouge ou bleu mais magenta ou cyan.

En optique, on s'intéresse à des lumières émises par des sources de lumières ou par des objets diffusants, alors que dans la vie quotidienne et en arts plastiques, on s'intéresse toujours à la lumière émise les objets diffusants.

### Bibliographie

- Buty C. (2004). Richesses et limites d'un modèle matérialisé informatisé en optique géométrique. *Didaskalia n°23*, pp. 39-64.
- Colin P. & Viennot L. (2000) Les difficultés d'étudiants post-bac pour une conceptualisation cohérente de la diffraction et de l'image optique. *Didaskalia n°17*, pp. 29-54.
- Goldberg F. & McDermott L. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, Vol. 55 n°2, pp. 108-119.
- Hirn C. (1995) Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième ? *Didaskalia n°6*, pp. 39-54.
- Kaminski W. & Mistriotti Y. (2000) Optique au collège: le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente. *Bulletin de l'Union des Physiciens n°823*, vol. 94, pp. 757-784.
- Maurines L. (1999) La propagation des ondes en dimension 3: analyse des difficultés des étudiants quant au modèle géométrico-ondulatoire – *Didaskalia n°15*, pp. 87-122.
- Ravanis K. & Papamichaël Y. (1995) Procédures didactiques de déstabilisation du système de représentations spontanées des élèves pour la propagation de la lumière. *Didaskalia n°7*, pp. 43-61.
- Ronen M. & Eylon B. (1993). To see or not to see : the eye in geometrical optics - when and how ? *Physics Education* vol. 28, pp. 52-59.

## Sur les couleurs

- Jouanisson R. (1985) Une expérience de pluridisciplinarité : Polyèdres de couleurs, synthèse additive. BUP 676, septembre 1985, pp. 1351-1360.
- Kaminski W. (1989) Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière. BUP 716, septembre 1989, pp. 973-996.
- Chauvet F. (1993) Conception et 1er essai d'une séquence sur la couleur. BUP 750, janv. 1993, pp. 1-28.
- Kowaliski P. (1992) *Vision et mesure de la couleur*, Masson, 1992.
- Seve R. (1996) *Physique de la couleur*, Masson, 1996.
- Viennot L. (2002) Phénomènes de couleur in Viennot L. (2002) *Enseigner la physique*, éd. De Boeck, pp. 189-214.

Retrouvez éduscol sur

