

**Un exemple d'évaluation
des nouveaux programmes :**
*problèmes liés à l'évaluation elle-même
et à la formation des maîtres*

par Édith SALTIEL et Wanda KAMINSKI
L.D.P.E.S. - Université Denis Diderot
(communication présentée au colloque
sur l'enseignement, congrès de la SFP Marseille)

Il y a un peu plus de deux ans, le L.D.P.E.S. a entrepris, dans le cadre d'un appel d'offre de la D.R.E.D.¹, une recherche intitulée «Transformations et effets d'intentions didactiques impliquées dans les textes récents définissant les contenus d'enseignement en physique». Cette recherche concerne uniquement les nouveaux programmes de physique de la classe de quatrième (optique et électricité), car nous trouvons, dans ces programmes, de nombreuses traces des travaux² de recherche en didactique de la physique (électricité et optique élémentaire). Il était important de voir si ces traces et intentions étaient ou non perçues par les enseignants et comment cela se manifestait auprès des élèves. Dans ce cadre, nous avons été amenées à évaluer certaines parties des programmes de physique de cette classe. Nous traiterons ici uniquement de l'évaluation d'une petite partie du programme d'optique, le but de cet article n'étant pas de rendre compte d'un travail complet de recherche, mais de profiter de ce travail pour soulever un certain nombre de problèmes concernant l'évaluation (qu'est-ce que l'on veut évaluer ? quelles questions poser ? que peut-on en déduire ?) et pour mieux cerner la nature des informations que peut apporter une telle évaluation, tant au niveau des élèves qu'au niveau de la formation des maîtres (en gros, à quoi ça sert ?).

1. Direction Recherche des Études Doctorales.

2. Voir en France les travaux de TIBERGHIEU, CLOSSET, JOHNSA et DUPIN pour l'électricité ; GUESNE, FAWAZ, KAMINSKI et CHAUVET pour l'optique.

LES PROGRAMMES DE PHYSIQUE DE LA CLASSE DE QUATRIÈME

L'évaluation de l'enseignement en classe de quatrième n'est pas immédiate car les programmes sont très «qualitatifs», en ce sens qu'ils ne comportent aucune formule qui relie différentes grandeurs physiques entre elles (comme $U = RI$). Les seules «lois» de ces programmes sont des lois qui soit s'expriment avec des mots comme «la lumière se propage en ligne droite», soit des lois qui concernent une seule grandeur physique (comme la loi d'additivité des tensions dans un circuit série). Par ailleurs, il n'est pas demandé de savoir par cœur de nombreuses valeurs numériques (comme par exemple la valeur de la vitesse de la lumière). Il est donc impossible de poser des questions «classiques de contenus». En revanche, ce programme, très centré sur l'expérimental, «exige» que les élèves soient à même de réaliser un montage, de vérifier expérimentalement certaines choses, de faire des prévisions, d'analyser, d'expliquer, etc. C'est, en particulier, au niveau de la nature de ces exigences que l'on s'aperçoit que ces programmes tiennent compte d'un certain nombre de travaux de recherche sur les modes de raisonnement. Pour construire les questions, nous avons été amenées à nous préoccuper non seulement des programmes et des commentaires, mais aussi de connaître les difficultés conceptuelles des élèves sur le sujet.

a) Programme d'optique «évalué» et résultats connus de recherche

Le programme d'optique de la classe de quatrième comporte quatre parties : «*les sources de lumière*» (primaires et secondaires), «*la propagation rectiligne de la lumière*», «*la vision*» et enfin «*la formation des images*» (exemple de la lentille mince convergente). Les trois premières parties insistent sur plusieurs aspects complémentaires : la notion de source secondaire ou des objets diffusants, la propagation rectiligne et surtout la vision. Nous ne parlerons pas ici de la dernière partie qui concerne les images et les lentilles.

Nous nous sommes intéressées à la partie du programme qui concerne «la matérialisation des rayons lumineux» et les concepts et lois nécessaires à la compréhension de cette matérialisation. Ceci apparaît dans la rubrique «exigences et apprentissages», à savoir «*expliquer pourquoi on peut “voir” des rayons de lumière “matérialisés” en milieu diffusant (dans l'espace à trois dimensions)*» et dans les commentaires : «*l'interprétation de ce que l'on appelle souvent des “rayons de lumière matérialisés” implique une synthèse des notions de diffusion, de propagation rectiligne et de réception de lumière par l'œil.*»

Cet extrait des commentaires peut a priori surprendre. En effet, tous les enseignants connaissent très bien les manuels qui montrent des faisceaux de lumière matérialisés pour visualiser, par exemple, les foyers objet et image d'une lentille mince convergente. Ces mêmes enseignants ont exploité ces montages lors de la préparation CAPES, puis les ont utilisés dans leurs cours. Nous devons remarquer que, en général, les auteurs ne s'étendent guère sur l'explication de cette visualisation, bien que cette explication soit simple : le faisceau lumineux «matérialisé» est visible car il rencontre des objets diffusants qui se comportent comme des sources secondaires qui diffusent la lumière dans toutes les directions, en particulier dans celle de notre œil. Ainsi, c'est parce que de la lumière issue de ces objets entre dans notre œil que l'on «voit» le faisceau (figure 1). Si, en revanche, aucune lumière n'entre dans notre œil, nous ne «voyons» pas le faisceau. Ne pas développer cette explication risque d'induire, chez les élèves, l'idée qu'ils peuvent voir un faisceau lumineux qui passe à côté d'eux, ce que Wanda KAMINSKI a résumé en disant que, pour les gens, la lumière est visible de profil ou de côté (figure 2). Il faut reconnaître que les expériences proposées dans le secondaire ainsi que les jolies photographies que l'on rencontre dans, par exemple, la revue «Laser Focus World» n'aident pas à lutter contre cette idée.

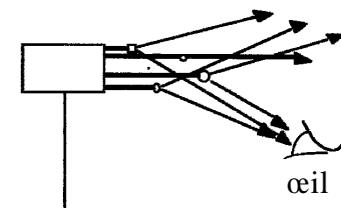


Figure 1

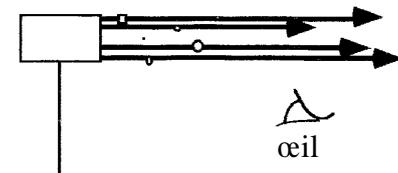


Figure 2

L'évaluation décrite ici porte sur cet aspect qui suppose la compréhension de la diffusion, de la propagation rectiligne et de la vision (au sens où pour voir quelque chose, il faut que l'œil reçoive un pinceau lumineux issu de ce quelque chose).

b) Construction des questions

Nous avons décidé d'interroger les élèves sur «la lumière est-elle ou non visible de côté ?» (question qui n'apparaît pas en tant que telle dans les programmes et commentaires) et sur l'explication qu'ils donnent des faisceaux «matérialisés», ce qui est explicitement exigé par les programmes. Ceci s'est traduit par deux questions : l'une est une question ouverte (question intitulée concert rock) et correspond aux exigences des programmes puisqu'il s'agit d'expliquer pourquoi on voit un faisceau lumineux «matérialisé» et l'autre (intitulée laser rouge) cherche à savoir si un faisceau de lumière peut ou non être vu de côté. Cette dernière question est une question fermée avec demande de justification. Nous allons voir dans un premier temps que cette demande de justification est essentielle puisque, si elle n'existait pas, elle pourrait conduire à des interprétations trompeuses.

c) Énoncé des questionsQuestion du laser rouge

Dans une pièce sombre, un laser rouge est allumé. Émilie déclare ne pas voir de faisceau de lumière rouge dans la pièce. A-t-elle des problèmes de vision ou peut-elle avoir raison ? Qu'en pensez-vous? Expliquer votre réponse.

Question du concert rock

Lors d'un concert rock, des sources laser de différentes couleurs sont utilisées. Comment expliqueriez-vous à votre petit frère que l'on voit le faisceau laser ?

Les réponses à ces questions supposent que les élèves aient assimilé ceci : un observateur voit quelque chose si et seulement si ce quelque chose envoie de la lumière dans son œil. Un faisceau lumineux qui passe à côté d'un observateur n'est pas visible sauf si ce faisceau rencontre, en nombre suffisant, des petits objets qui diffusent ou envoient de la lumière dans toutes les directions, en particulier dans l'œil de l'observateur.

d) Population interrogée

Ces deux questions ont été posées à des élèves anciens et nouveaux programmes. Les élèves «nouveaux programmes» (np) sont tous des élèves de quatrième : deux cent soixante-douze ont répondu à la question du laser rouge et deux cent cinquante-huit à la question du

concert rock. Les élèves «anciens programmes» (ap) sont, pour l'essentiel, des élèves de quatrième et de troisième ; cependant nous y avons joint des réponses d'élèves de seconde «anciens programmes» (ces derniers ayant été interrogés avant de commencer la partie du programme de seconde sur «son et lumière»). Les résultats de tous ces élèves «anciens programmes» sont très similaires, ce qui nous a permis de constituer une population unique d'élèves «anciens programmes». Au total, quatre cent neuf élèves (ap) ont répondu à la question du laser rouge et quatre cent vingt-et-un à la question du concert rock.

RÉSULTATS BRUTS - IMPORTANCE DE LA NATURE DE LA QUESTION POSÉE

Dans un premier temps, nous avons regardé si les élèves répondent plus ou moins facilement selon la nature ouverte ou fermée de la question. La réponse est bien connue des didacticiens et des enseignants : les élèves répondent d'autant moins volontiers que la question est ouverte, comme l'indique le tableau Ia. Notons que tous les pourcentages indiqués dans les différents tableaux se rapportent à la population totale concernée.

<i>Laser rouge</i>	(np)	(ap)	<i>Concert rock</i>	(np)	(ap)
Pas de réponse	12 %	17 %	Pas de réponse	37 %	47 %

Tableau Ia

En d'autres termes, les élèves (mais pas seulement eux) répondent d'autant plus facilement qu'on leur demande de choisir parmi plusieurs réponses. Or, la question fermée du laser rouge peut être considérée comme étant une question de type QCM, pouvant conduire à trois réponses différentes : Émilie a raison, Émilie a tort et pas de réponse. Nous avons regroupé dans le tableau Ib les résultats obtenus.

	(np)	(ap)
Émilie a raison	62 %	57 %
Émilie a tort	26 %	26 %
Pas de réponse	12 %	17 %

Tableau Ib

Nous constatons que les élèves nouveaux et anciens programmes réagissent de façon similaire et dans des proportions tout à fait honorables. Il est tentant de penser que les élèves ayant répondu

«Émilie a raison» ont compris que la lumière n'est pas visible de côté. Cependant, avant d'interpréter de cette façon les résultats, il faut, comme nous allons le constater, s'assurer que cette interprétation a un sens : le seul moyen de le savoir, c'est de demander des justifications, puis de les analyser.

Nous constatons, en effet, que, si certains élèves avancent qu'«Émilie a raison», c'est parce que, selon eux :

- L'œil humain n'est pas sensible au rayonnement émis par le laser. Le laser est alors perçu comme étant une source infrarouge, voire une source de rayons X ou d'UV.

«Le laser rouge est sûrement un laser infrarouge. Certaines lumières ou couleurs sont imperceptibles par l'œil humain, c'est pour cela qu'Émilie ne peut pas voir le laser» (2 ap) ; «Elle a raison, je ne peux pas expliquer pourquoi ils ne se voient pas ; mais je sais que le seul moyen de les voir est d'avoir des lunettes spéciales» (4 ap) ; «Elle ne peut pas voir le laser rouge car c'est un rayon X et on ne peut pas le voir» (4 np).

- Le faisceau a des caractéristiques telles qu'il n'est pas possible de le voir : le diamètre du faisceau est trop petit pour que l'œil puisse le voir ou la puissance du laser est trop faible ou encore la vitesse est trop grande (on n'a pas le temps de le voir), (sous-entendu, dans le cas contraire on pourrait voir le faisceau).

«Émilie a raison car le laser est trop fin» (4 ap) ; «Il se peut que le laser ne soit pas assez lumineux donc que la lumière du laser est trop faible dans la pièce sombre» (4ap) ; «Elle peut avoir raison car un rayon laser va à la vitesse de la lumière, donc elle peut ne pas l'avoir vu» (4 np).

- Certaines conditions indépendantes du laser ne sont pas remplies. Pour certains, il y a un obstacle entre Émilie et le faisceau laser ; pour d'autres, c'est parce que la pièce n'est pas complètement obscure qu'on ne peut pas voir le faisceau.

«Elle peut avoir raison car un corps opaque peut être devant le faisceau et là on ne pourrait pas voir» (3 ap). «Elle a raison. Si la pièce est au jour, elle le voit pas. Mais si la pièce est dans le noir, elle le verra» (4 ap).

- Le laser n'est pas perçu comme étant une source de lumière, donc dans le noir, on ne peut pas le voir.

«C'est vrai dans le noir nous ne discernons pas les choses, nous ne voyons rien, ni les couleurs, ni les formes, ni les choses vivantes. Nous ne voyons rien dans le noir» (3 ap).

Ces élèves pensent que, si le faisceau remplit certaines conditions (être dans la bonne gamme spectrale, être suffisamment large, suffisamment intense) ou si la pièce est suffisamment obscure ou éclairée, alors le faisceau lumineux est visible. Ainsi, une réponse à une question fermée ne garantit absolument pas que l'élève a compris la physique correspondante. En effet, nous trouvons 34 % des élèves (np) et 45 % des élèves (ap) qui justifient que la lumière est visible (de côté), alors que 16 % d'élèves (ap) justifient que la lumière est «invisible» contre 34 % pour les élèves (np). Sur l'histogramme qui suit (figure 3), nous avons regroupé les résultats, en distinguant les justifications ou explications en deux catégories : la lumière est invisible (sous-entendu de côté) et la lumière est visible (toujours sous-entendu de côté) et indiqué le pourcentage d'élèves qui ont répondu que Émilie avait raison.

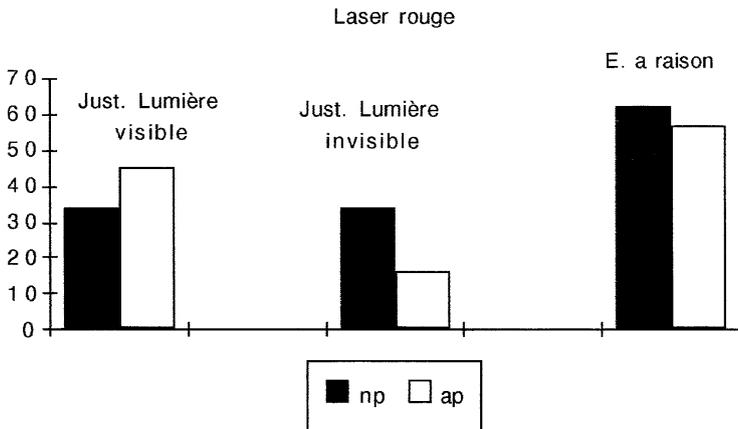


Figure 3

Ce graphe met en évidence les différences qui existent entre les deux populations et illustre le fait qu'il faut se méfier de questions de type QCM pour faire une évaluation. Ceci ne signifie nullement que les questions de type QCM soient à proscrire; mais que l'on doit s'assurer que les réponses proposées par l'évaluateur lui permettent de discriminer les raisonnements des élèves et donc différents niveaux de

compréhension du phénomène physique étudié. Ici, plutôt que de proposer aux élèves de choisir parmi différentes explications, nous leur avons demandé d'expliquer leur réponse.

RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION

Il s'agit maintenant d'analyser les explications et les justifications fournies. Nous avons en fait deux catégories de couples «réponses-justifications» ou «réponses-explications» : la catégorie «lumière visible de côté» et la catégorie «lumière invisible de côté».

a) *Explications associées à la catégorie «lumière visible de côté»*

Certains élèves disent que l'on ne peut pas voir (cf. les explications déjà citées) car le faisceau n'est pas assez intense ou pas assez large... d'autres déclarent que l'on voit et tentent d'expliquer pourquoi on le voit.

Avec la question du laser rouge, les élèves écrivent : «*Un faisceau de lumière doit se voir même dans le noir*» (4np) ; «*un faisceau lumineux c'est très lumineux donc si elle n'avait pas de problème optique elle l'aurait vu*» (4 ap) ; «*Émilie doit avoir un problème de vision : un rayon laser se voit parfaitement dans le noir et s'il rencontre un obstacle, ça fait un point rouge sur le mur. Dans la nuit, on voit un trait rouge*» (4 ap) ; «*a des problèmes de vision car le laser est une source primaire de lumière, il envoie toute la lumière et le noir n'a pas de lumière ; donc avec le contraste le laser se voit nettement*» (4 np).

Avec la question du concert rock, on retrouve ce même type d'explication : «*on voit parce que le laser est une source de lumière concentrée*» (3 ap) ; «*on peut voir le faisceau car il émet de la lumière*» (2 ap) ; «*il fait sombre, noir. Lorsqu'une pièce est sombre, les faisceaux de lumière sont plus visibles qu'à la lumière du jour. C'est donc pourquoi les faisceaux sont visibles dans la salle de concert*» (4np) ; «*dans la nuit, on voit mieux un faisceau laser que dans le jour le faisceau laser car il est coloré*» (3 ap).

On trouve aussi des explications qui mentionnent la couleur du faisceau : «*nous pouvons voir le faisceau car il est coloré*» (3 ap) ; «*le laser utilise des couleurs perceptibles par l'œil*» (2 ap) ; «*on voit le faisceau laser grâce au spectre*» (2 ap) ; «*un faisceau laser de couleur*

est un faisceau qui absorbe la couleur désirée et rejette les autres» (4 np).

b) Explications associées à la catégorie «lumière invisible de côté»

L'explication complète comprend trois étapes : tout d'abord la reconnaissance de l'**existence d'objets diffusants**, éclairés par le faisceau, puis l'**action de la lumière sur ces objets**, c'est-à-dire la diffusion (ou le renvoi) de la lumière par l'objet (à cette étape de l'explication il ne suffit pas de dire que ces objets sont éclairés ; il faut aussi préciser qu'ils renvoient une partie de la lumière reçue), et enfin que cette **lumière renvoyée par l'objet diffusant entre dans l'œil** de l'observateur (c'est ce qui explique que l'on voit). Une explication complète fait intervenir ces trois étapes ou éléments, qui constituent ainsi une chaîne explicative permettant de rendre compte de la vision d'un «faisceau lumineux» : l'explication complète a pour point de départ le faisceau lumineux issu de la source primaire et pour point d'arrivée l'oeil de l'observateur. Nous avons ainsi comptabilisé le nombre d'éléments de la chaîne explicative qui intervenaient dans les explications fournies. Les résultats sont résumés dans le tableau III.

	(np)		(ap)	
	Laser rouge	Concert rock	Laser rouge	Concert rock
Un élément de la chaîne	26 %	27 %	13 %	15 %
Deux éléments de la chaîne	2 %	7 %	2 %	4 %
Chaîne complète	2 %	1 %	1 %	1 %
Le noir absorbe	4 %			

Tableau III

Nous rencontrons quatre types de justifications :

α) justifications faisant intervenir uniquement le **premier élément** de la chaîne, c'est-à-dire l'existence d'un objet diffusant comme la poussière, la fumée, le mur.

Justifications rencontrées avec la question du laser rouge :

«le laser ne peut être repéré qu'en voyant son point contre le mur» (2ap) ; «Elle a raison car pour pouvoir voir le faisceau, il faut jeter du sable ou de la poussière» (4ap) ; «il suffit qu'Émilie mette de la poussière ou de la craie» (4np) ; «pour voir le faisceau, il faut qu'un objet le traverse» (4np) ; «si on place un laser rouge allumé devant un mur blanc, on ne verra pas le faisceau mais on pourra voir le point rouge qui est projeté sur le mur» (4np).

Justifications rencontrées avec la question du concert rock :

«c'est grâce à la fumée qu'il y a sur la scène qu'on peut voir les faisceaux lumineux» (2ap) ; «un faisceau laser est complètement invisible, mais on peut le voir grâce à de la poussière» (3ap) ; «on voit le faisceau laser car il fait sombre et que la poussière est présente un peu partout» (4ap) ; «je dis qu'il envoie de la fumée grâce à laquelle le faisceau laser devient visible» (4np).

β) Justifications où interviennent deux éléments de la chaîne :

Lors de la question du laser rouge :

«quand il y a de petites matières comme la craie, celles-ci se transforment en récepteurs qui peuvent diffuser» (4ap) ; «dans la pièce, le rayon rouge, n'ayant rien sur quoi se réfléter, n'est pas visible» (4np) ; «aucune matière ne peut réfléchir le rayon» (4np).

Avec la question du concert rock :

«le laser éclaire les poussières dans l'air qui réflète la lumière» (2ap) ; «on voit le faisceau laser car... la poussière diffuse la lumière» (4ap) ; «les faisceaux laser vus depuis les discothèques ou pendant un concert rock sont dus au diffusement de la lumière par des poussières, des insectes ou de la pluie» (4ap) ; «les rayons laser rencontrent des particules solides (poussières) qui sont des sources de lumière secondaires et réflètent la lumière» (4np).

γ) Justifications considérées comme illustrant la chaîne complète :

Question du laser rouge :

«La lumière produite par le laser se réfléchit sur ces particules (avec un dessin représentant des rayons, des poussières et des rayons issus des poussières et entrant **dans l'œil**)» (2ap) ; «elle n'est pas obligée de le voir. C'est uniquement quand le faisceau est arrivé contre le mur et renvoie vers **nos yeux**» (4ap) ; «nous voyons les faisceaux lumineux seulement quand nous les recevons dans l'œil car nous voyons dans ce faisceau les "poussières" qui sont dans la pièce et qui sont donc éclairées par celui-ci» (4np).

Question du concert rock :

«dans l'air, il y a des petites particules de poussière qui volent. Ces particules lorsqu'elles se trouvent devant le faisceau laser renvoient la lumière dans toutes les directions, ce qui permet à nos yeux de les voir, même quand le laser n'est pas dans notre direction» (4ap).

δ) La dernière catégorie de justifications qui, bien que très petite en nombre (4 %), mérite d'être signalée car elle ne se rencontre qu'avec la question du laser rouge et les élèves nouveaux programmes, et ceci quelque soit l'enseignant. Ces élèves mentionnent que le noir absorbe toutes les radiations lumineuses.

«*Elle n'a pas de problèmes de vue car dans le noir, l'obscurité absorbe toute la lumière du faisceau projeté*» (4np) ; «*le noir absorbe toutes les couleurs*» (4np) ; «*le noir absorbe toutes les radiations lumineuses*» (4np).

c) *Résumé des résultats*

Les élèves (np) répondent un peu plus que les élèves (ap) aux questions posées. En ce qui concerne le problème de la visibilité de la lumière, nous constatons qu'il y a beaucoup d'élèves qui pensent que la lumière peut être vue de côté ; le fait que la lumière considérée soit colorée semble favoriser ce type de réponse.

Parmi les élèves (np) qui fournissent cette réponse, on constate une nette diminution des réponses «la lumière est invisible car l'œil humain n'est pas sensible à cette lumière (IR, UV...)». Cette diminution est-elle due à la disparition, en classe de quatrième, des spectres lumineux ?

Cependant, les élèves (np) savent mieux que les élèves (ap) que, pour voir des rayons lumineux, il faut les matérialiser, comme l'indique le tableau IV et la figure 4 suivants:

	Lumière visible		Lumière invisible	
	Laser rouge	Concert rock	Laser rouge	Concert rock
(np)	34 %	25 %	34 %	38 %
(ap)	45 %	33 %	16 %	20 %

Tableau IV

L'essentiel des justifications fournies mentionnent le premier élément de la chaîne, comme l'indique le tableau III.

Notons enfin, l'apparition d'une justification qui ne se rencontre qu'auprès des élèves (np), à savoir «on ne voit pas la lumière dans le noir car le noir absorbe tout ou toutes les couleurs». Est-ce une conséquence des nouveaux programmes qui insistent sur le phénomène de diffusion, par couleurs interposées (un objet est «vu» noir car il

absorbe toutes les radiations lumineuses, identifiant ainsi abusivement «le noir» à une surface matérielle noire) ?

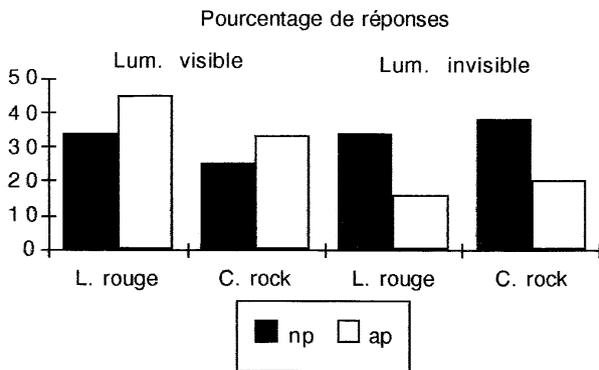


Figure 4

L'ensemble des enseignants ayant eu une journée complète d'informations sur les nouveaux programmes de sciences physiques de la classe de quatrième, on peut se demander si ces notions ne sont pas trop difficiles à enseigner, compte tenu de l'âge de ces élèves, de leur hétérogénéité et compte tenu du fait que c'est leur première année d'enseignement de sciences physiques, l'enseignement en classes de sixième et de cinquième ayant été supprimés. Un élément de réponse à cette question est apportée par les résultats obtenus par des élèves ayant suivi les cours d'une certaine catégorie d'enseignants, ce qui va nous amener à parler de la formation des enseignants.

3. FORMATION DES ENSEIGNANTS

Nous avons interrogé les élèves de deux enseignants qui ont suivi des stages longs (au moins quatre jours sur l'ensemble du programme d'optique de la classe de quatrième) de formation continue avec des chercheurs du L.D.P.E.S. (W. KAMINSKI et/ou F. CHAUVET). Ainsi cinquante-neuf élèves ont répondu à la question du laser rouge et quarante à celle du concert rock. La moitié de ces élèves a été interrogée en mai 1993 (date à laquelle les anciens programmes étaient encore en place) et l'autre moitié en juin 1995. Nous avons donc dissocié leurs résultats, les élèves anciens programmes étant symbolisés par (ap*) et les élèves nouveaux programmes par (np*).

Premier constat

Ces élèves répondent en plus grand nombre que leurs camarades, comme l'indique le tableau V.

Laser rouge

	(np)	(np*)	(ap)	(ap*)
Non réponse	15 %	0 %	29 %	8 %

Concert rock

	(np)	(np*)	(ap)	(ap*)
Non réponse	37 %	9 %	47 %	16 %

Tableau VDeuxième constat

Ces élèves sont beaucoup plus nombreux à expliquer que la lumière est invisible de côté, comme l'indique le tableau VI.

Question laser rouge

	(np)	(ap)	(np*)	(ap*)
Lumière invisible justifiée	34 %	16 %	66 %	72 %
Lumière visible justifiée	34 %	45 %	17 %	10 %

Question concert rock

	(np)	(ap)	(np*)	(ap*)
Présence d'éléments diffusants : Lumière invisible	38 %	20 %	91 %	69 %
Lumière visible	25 %	33 %		15,5 %

Tableau VI

Les résultats obtenus avec ces deux populations ((ap*) et (np*)) sont bien meilleurs que ceux obtenus par les élèves (ap) et même (np). Ainsi, ils sont au minimum 66 % (ce pourcentage, le plus bas, est celui obtenu par une classe dite «faible») à donner une explication compatible avec le fait que la lumière est invisible de côté, ce qui représente un énorme progrès et une performance tout à fait honorable. Mais ce n'est pas tout : ils donnent aussi, lorsqu'ils répondent, des réponses qui

diffèrent de façon significative des réponses données par les autres élèves, ce qui est résumé dans le tableau VII.

	(np)		(ap)	
	Laser rouge	Concert rock	Laser rouge	Concert rock
Un élément chaîne	25 %	27 %	13 %	15 %
Deux éléments chaîne	2 %	7 %	2 %	4 %
Chaîne complète	2 %	1 %	1 %	1 %
Le noir absorbe	4 %			

	(ap*)		(np*)	
	Laser rouge	Concert rock	Laser rouge	Concert rock
Un élément chaîne	38 %	37 %	5 %	19 %
Deux éléments chaîne	23 %	21 %	34 %	33 %
Chaîne complète	8 %	11 %	27 %	33 %
Le noir absorbe	4 %		2 %	5 %

Tableau VII

Les différences entre ces populations interviennent essentiellement au niveau du nombre d'éléments qui existent dans la réponse fournie. Les réponses et justifications correspondant à la catégorie «lumière visible de côté» sont en nette diminution. D'ailleurs, les élèves (np*) interrogés ont bien retenu que la lumière n'était pas visible de côté. En effet, avec la question du laser rouge, ils écrivent :

«Émilie peut avoir raison si elle est de côté par rapport au faisceau car la lumière ne peut se voir de côté ; la lumière ne se voit que de face» ; «Elle a raison car on ne peut pas voir la lumière de côté s'il n'y a pas de poussière» ; «Elle a tort parce qu'il y a quelque chose qui envoie de la lumière et quelque chose qui renvoie la lumière à Émilie».

Et avec la question du concert rock :

«On ne voit pas la lumière de côté sauf si une source secondaire nous la renvoie. Ici, la source secondaire est la poussière» ; «la lumière ne se voit pas de côté. Mais dans des concerts de la fumée est lancée dans le faisceau et donc cette lumière est diffusée et peut donc être vue car de la lumière entre dans nos yeux» ; «Alors, tu vois, il suffit de placer là ou passe le faisceau de la fumée ou des particules d'eau. Comme ceci, la lumière est diffusée vers nos yeux, car pour être vu, il faut que la lumière passe dans nos yeux».

Ces résultats indiquent que cette physique ne semble pas être inaccessible aux élèves de quatrième, et ce, quelque soit le niveau de ces derniers. Une formation «longue» explicitant les objectifs de l'enseignement par rapport au contenu disciplinaire et aux difficultés conceptuelles des élèves et s'appuyant sur des scénarios expérimentaux raisonnés aide les enseignants à mettre en place un enseignement apparemment plus adapté aux élèves et du coup plus performant. Dans le cas étudié ici, la formation suivie par ces enseignants insiste non seulement sur les difficultés conceptuelles des élèves mais aussi sur l'importance que l'on doit accorder, du point de vue de la physique, à la vision, au sens ou nous l'avons développé ici. Cet aspect de la vision intervient aussi bien au moment de l'étude des sources secondaires, que de l'étude de l'ombre et de la pénombre, que de la propagation rectiligne et qu'enfin lors de l'étude des images : la formation suivie est de ce point de vue cohérente et insiste beaucoup sur cette notion de chaîne explicative. Pour clore ce propos, nous voudrions citer une anecdote qui nous paraît très significative, car elle montre que ce problème de visibilité de la lumière de côté est un obstacle très fort. Un jour, un didacticien de la physique emmène un néophyte (spécialiste de droit) visiter un laboratoire expérimental. Le chercheur physicien branche un laser très puissant avec lequel sont étudiées des propriétés optiques de certains matériaux et commence à présenter sa manipulation. Le didacticien, tout en écoutant, remarque que l'on ne voit pas le faisceau laser (seuls les impacts sur des obstacles sont «visibles») ; mais ne fait rien remarquer. En effet, l'objet de la visite n'était pas de faire prendre conscience au visiteur que, pour voir, de la lumière doit entrer dans l'œil de l'observateur. Quelques jours après le colloque sur l'enseignement organisé par la S.F.P. au cours duquel nous avons exposé le contenu de cet article, le didacticien discute avec le néophyte et exploite ce qui a été vu dans la salle de laboratoire. Le dialogue suivant s'est alors engagé :

«– *le néophyte* : Mais j'ai vu le faisceau laser.

– *le didacticien* : Es-tu sûr ? Rappelle-toi.

– *le néophyte* : Oh, oui, il était d'un beau bleu-vert.

– *le didacticien* : Souviens-toi de cette belle couleur visible sur les supports, le miroir, le porte échantillon et rien entre.

Grand et long silence, puis

– *le néophyte* : Mais c'est vrai... En fait, en voyant ces taches bleues vertes sur ces objets qui se trouvaient sur le trajet du faisceau, mon cerveau a été persuadé d'avoir vu le trajet lumineux en entier».

CONCLUSION

Nous avons voulu montrer que l'on peut évaluer un programme «qualitatif» en évaluant des capacités d'analyse et d'explication de phénomènes physiques. Ceci suppose que l'on soit à même d'explicitier clairement ce que l'on veut évaluer et le pourquoi de ce type d'évaluation. Nous avons également montré que les questions posées peuvent être ouvertes ou fermées à condition que ces dernières soient toujours accompagnées de demandes de justifications ou d'explications, afin de ne pas interpréter de façon erronée les résultats. Ce sont, en effet, les explications (ou justifications) données par les élèves qui permettent d'interpréter leurs réponses et de vérifier, avec un risque minimum d'erreur, ce qu'ils ont ou non acquis.

Nous avons également montré que la partie du programme d'optique de la classe de quatrième évaluée n'est pas inaccessible à des élèves de quatrième, à condition que leurs maîtres soient bien formés. Une information d'une journée sur l'ensemble du programme d'une classe ne suffit pas à assurer une «bonne» formation, comme chacun le sait. Une formation satisfaisante suppose une formation longue (au moins quatre jours à temps plein pour la totalité de l'optique de la classe de quatrième, par exemple) afin de pouvoir expliciter les intentions didactiques (ici l'introduction et l'analyse de la chaîne explicative), tout en étant à même de cerner les avantages et les limites d'une analyse d'un grand nombre de phénomènes optiques à l'aide des différents éléments de cette chaîne.

BIBLIOGRAPHIE

- B. ANDERSON et Ch. KARRQVIST , 1983 *How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties*. Eur. J. of Sc. Ed. n° 5(4), pp. 387-402.
- R.E.A. BOUWENS, 1987 *Misconceptions among pupils regarding geometrical optics*. In J. Novak (ed), Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Vol III (Cornell Univ. Ithaca, New York), pp. 23-28.
- F. CHAUVET, 1993 *Conception et premiers essais d'une séquence sur la couleur pour les étudiants d'arts appliqués*, B.U.P. n° 750, pp. 1-26.
- F. CHAUVET, 1994, *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration*

et évaluation d'une séquence d'enseignement, thèse de doctorat, Université Paris VII.

– A.A. FAWAZ et L. VIENNOT, 1985 *Image optique et vision* B.U.P. n° 686 pp. 1125-1146.

– E. FEHER et K. RICE, 1987 *A comparaison of teacher and student conceptions in optics*. In J. Novak (ed), Proc. of the Second International Conference on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Vol. II (Cornell Univ. Ithaca, New York), pp. 108-117.

– E. GUESNE, 1984 *Children's ideas about light : les conceptions des enfants sur la lumière* New trends in Physics Teaching, Vol. IV, UNESCO, Paris, pp. 179-192.

– C. HIRN, 1995 *Comment les enseignants de Sciences Physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes de quatrième ?*, Didaskalia, n° 6, pp. 39-54.

– W. KAMINSKI, 1989 *Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière*, B.U.P. n° 716, pp. 973-996.

– W. KAMINSKI, 1991, *Optique élémentaire en classe de quatrième : raisons et impact sur les maîtres d'une séquence d'enseignement*, thèse de doctorat, Université Paris VII.

– W. KAMINSKI, 1993, *Rayons épinglés ou comment tracer les rayons lumineux en quatrième*, B.U.P. n° 750, pp. 29-33.

– L. VIENNOT, 1994, *Recherche en didactique et nouveaux programmes : convergences*, Didaskalia (partie «innovation») n° 3, pp. 119-128.