

## Recherche en didactique autour de la transition Secondaire-Supérieur

DEUX EXEMPLES :

L'OPTIQUE GEOMETRIQUE.

L'ALGEBRISATION DES GRANDEURS ET DES LOIS PHYSIQUES (\*)

par L. VIENNOT,

Laboratoire de Didactique de la Physique  
dans l'Enseignement Supérieur, Université Paris 7.

---

Cet exposé se veut essentiellement illustratif. Il s'agit de donner une idée de l'activité de recherche en didactique à la transition Secondaire-Supérieur, telle que nous la pratiquons dans notre équipe.

Une première étude porte sur les difficultés des étudiants dans un domaine particulier de la physique : l'optique géométrique.

La seconde analyse des difficultés d'ordre plus général : celles qui sont liées à la nature algébrique des grandeurs et des relations physiques. Ces deux études sont faites à partir d'enquêtes préparées par des interviews et utilisant essentiellement des questionnaires.

### I. QUELQUES RESULTATS A PROPOS DE L'IMAGE OPTIQUE.

Au fait, donc, avec d'abord une étude sur l'optique géométrique en classe de Première au Liban, d'Ahmed FAWAZ (1,2) prolongée par le mémoire de tutorat de Wanda KAMINSKA (3), en France en fin de secondaire et au niveau B.T.S.

La mécanique principalement, mais aussi dans une moindre mesure les notions de chaleur et de Température, nous avait habitués à l'exploration de difficultés largement associées à l'expérience et au langage courants. Les raisonnements mis à jour y méritaient particulièrement bien le qualificatif d' « extra-scolaires », même si l'enseignement contribuait parfois à les renforcer.

---

(\*) N.D.L.R. : Cet article reprend le texte d'une conférence prononcée aux Journées de l'U.d.P. à Reims en novembre 1986.

Les difficultés auxquelles nous confronte l'optique sont à situer, nous allons le voir, dans des registres plus variés : automatismes scolaires mal maîtrisés, extensions abusives de l'expérience courante, réduction d'objets physiques à des formes exagérément simplifiées.

Cette liste recouvre en gros celle des sous-thèmes retenus pour l'étude d'A. FAWAZ, centrée sur l'image optique dans les lentilles minces. Il s'agit des points suivants :

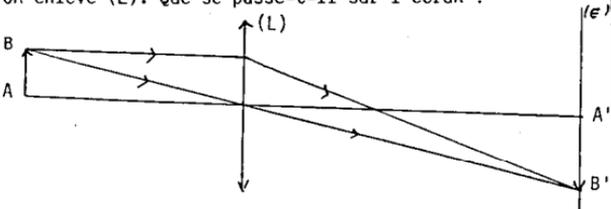
- correspondance point par point, à concilier avec la correspondance globale objet-image, et rôle du schéma,
- notions de luminosité et de netteté,
- l'œil en tant que système optique inséré dans une chaîne.

#### a) Correspondance objet-image.

Une première question, empruntée à L. MACDERMOTT et F. GOLDBERG (4), porte sur la nécessité même d'un système optique pour la formation de l'image.

Question

AB : objet  
 L : lentille convergente  
 L : donne de AB une image A'B' sur l'écran E.  
 On enlève (L). Que se passe-t-il sur l'écran ?



Résultats

	B.T.S.	1 F <sub>8</sub>	TC+TD	A.A. Fawaz	Goldberg MacDermott
Pas d'image	56 %	38 %	27 %	45 %	50 %
Image	39 %	42 %	57 %	45 %	41 %
*dont image redressée	*37 %	*38 %	*50 %	*36 %	*41 %
Autre ou sans réponse	5 %	20 %	16 %	10 %	9 %
Effectif	54	24	73	31	22

" Il n'existe plus de système de déformation de l'image." (Réf. 2-3).

Encadré 1 : Est-ce vraiment nécessaire d'utiliser des lentilles.

Les résultats qui figurent à la suite de la question sur l'encadré 1 sont frappants :

- par l'importance des pourcentages d'étudiants qui considèrent
  - \* qu'il y aura une image sur l'écran,
  - \* que cette image sera redressée,
- par la stabilité de ces pourcentages sur des populations assez variées : secondaire au Liban, collège aux U.S.A., B.T.S. et Terminales C et D en France.

Pour de nombreux étudiants donc, tout se passe comme si la lentille n'avait pas pour fonction de former l'image mais bien de la retourner. Nous avons construit une question de contrôle qui, à notre sens, favorisait moins ce type de réponse. Aucune mention préalable de la lentille n'est faite. On présente un objet et un écran et l'on demande s'il y aura une image. Les résultats sont tout à fait analogues aux premiers. Quant à la fonction « retournante » et non « imageuse » de la lentille, W. KAMINSKA a obtenu des commentaires extrêmement significatifs, tels ceux-ci :

*« Il n'existe plus de système de déformation de l'image »*  
(T. C.).

*« AB n'est pas déformé car le faisceau lumineux ne traverse que l'air »* (T. C.).

*« A'B' sans lentille n'est pas renversé et sa grandeur est la même que l'objet »* (T. S.).

Il faut rappeler ici que les étudiants interrogés, au moins au Liban et en B.T.S., savaient dans leur grande majorité résoudre des problèmes relativement complexes d'optique géométrique : enchaînement de lentilles, correction des anomalies de l'œil, etc.

On a donc ici un reflet caricatural du choix d'objectif qui a été fait pour ces élèves. L'apprentissage de techniques de schématisation ou de calcul était censé entraîner avec lui, de façon quasi-évidente, la compréhension d'aspects fondamentaux de l'optique. On voit ce qu'il en est.

Deux autres questions, parmi d'autres, illustrent les difficultés associées à la compréhension de base de la formation de l'image, en particulier sur le point suivant : comment concilier la correspondance ponctuelle entre objet-image et leur correspondance globale.

La question dite « de la bougie » figure dans l'encadré 2. Les résultats figurent sur le même encadré qui rassemble les populations interrogées par A. FAWAZ et Wanda KAMINSKA. Moins homogènes que ceux qui concernent la première question, ils sont

malgré tout surprenants. La pratique scolaire répandue consistant à mettre une lettre à chaque extrémité de l'objet, à laquelle correspond une lettre à chaque extrémité de l'image,

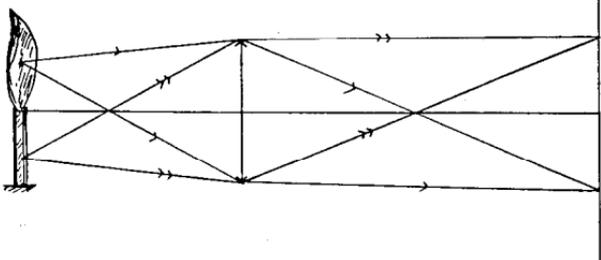
- soit dégénère en automatisme aveugle : « on voit l'image de AB » (segment délimité par les origines des deux faisceaux dessinés),
- soit laisse l'étudiant désorienté devant une question qui ne respecte pas la règle du jeu.

Quasiment impérative, une telle pratique marque, ou du moins laisse oublier un aspect fondamental de la formation de l'image, celui de « l'échantillonnage », à savoir :

\* un « échantillon » de deux couples de points objet-image permet de prévoir une infinité de correspondances ponctuelles (avec plus

Question

(L) est une lentille convergente  
(H) est un écran



S'il vous semble qu'il manque des notations sur la figure ajoutez-en.

\* Que voit-on sur (H)?  
Justifiez votre réponse

Résultats

Sur H ↓	B.T.S.	1.F <sub>g</sub>	TC+TD	1ère Liban
Image de la bougie	76 %	38 %	73 %	34 %
Image de AB et/ou A et B	19 %	29 %	9 %	41 %
Effectif	54	24	73	58

(réf. 2-3)

Encadré 2 : L'image asservie au schéma.

ou moins de précision : voir les conditions de l'approximation de GAUSS).

Les erreurs obtenues sur cette question paraissent anodines du point de vue des objectifs habituels d'enseignement de l'optique. Elles témoignent pourtant, me semble-t-il, du fait que l'idée d'échantillonnage est absente, ou occultée par l'impératif scolaire de réunir les points.

De plus, elles rejoignent d'autres erreurs, observées à propos des chambres noires (\*\*), où l'image de deux sources ponctuelles ne semble pas distinguée de l'image du segment qui les joint.

L'idée d'échantillonnage sous-tend également la question suivante, où l'on cherche à savoir si l'étudiant comprend que dans un faisceau lumineux joignant un point et son image, un échantillon de deux rayons permet de prévoir le comportement d'une infinité d'autres rayons. Elle figure sur l'Encadré 3. Les résultats obtenus au Liban, en D.E.U.G., en T.D., en T.C. et en 1<sup>re</sup> F<sub>8</sub>, convergent pour signaler à quel point, pour beaucoup d'étudiants, l'idée d'échantillonnage vient bien loin derrière des aspects habituels, mais néanmoins contingents de la formation de l'image — « le rayon central doit passer » — ou bien, plus souvent, derrière l'idée simple « d'ombre ».

L'étude de ce sous-thème nous a donc amenés, dans une recherche quelque peu dialectique, à définir des lignes dans les difficultés des étudiants, à expliciter des objectifs éventuels d'enseignement — ici la notion d'échantillonnage associée à la formation de l'image et le passage du ponctuel au global, du discret au continu —, enfin à construire quelques supports de travail sur ces points.

On retrouve ces trois aspects sur les deux autres sous-thèmes.

b) L'un concerne les **liaisons établies par les étudiants entre les notions de netteté et de luminosité** (Réf. 1, 2).

Utilisées dans le cours de l'enseignement, ces notions ne sont pas, actuellement, en tant que telles, objets d'enseignement. Leurs définitions restent implicites et d'ailleurs, dans le cas de la netteté surtout, difficiles à construire. Chez les étudiants, on observe qu'elles sont fréquemment associées soit dans une dépendance

---

(\*\*) Ceci n'est d'ailleurs qu'un élément parmi d'autres, en particulier les schémas fournis, qui témoignent de ce que la chambre noire n'a nullement aidé ces élèves à maîtriser le principe de la construction des images.

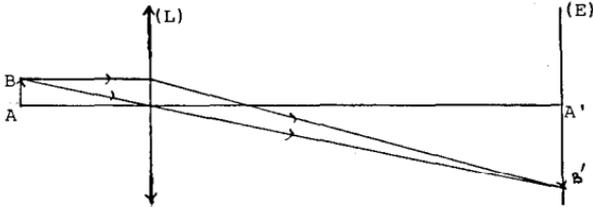
directe : « l'image est plus nette parce qu'elle est mieux éclairée », soit dans une dépendance inverse, surtout dans le cas de la vision directe :

Question

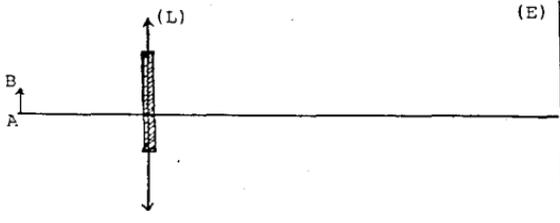
Cache Circulaire

Une lentille convergente (L) donne d'un objet AB lumineux une image réelle A'B' que l'on reçoit sur un écran (E).

L'ensemble est disposé comme le montre le schéma suivant:



On dispose un cache sur la partie centrale de la lentille, comme sur le schéma ci-dessous. (L'objet, la lentille et l'écran sont toujours au même endroit).



\* Que voit-on maintenant sur l'écran? Comparez avec le cas précédent en justifiant votre réponse..

Résultats

	B. T. S.	1 F8	TC TD	1 Liban	DEUG Paris
Image de la même taille	45	8	7	27	42
Image partielle, diminuée/supprimée	41	46	53	64	46
Autre ou abstention	14	46	40	9	14
Effectif	54	24	92	58	93

(réf. 2-3)

Encadré 3 : Comment trouver une image.

« Plus l'objet est lumineux, moins l'image est nette ».

« La netteté diminue car la quantité de lumière est plus grande que celle de la capacité de l'œil ».

De ces résultats que je ne peux détailler ici, il ressort que la netteté n'est pas, et de loin, associée à un registre exclusivement géométrique. La question qui se pose, on le voit particulièrement sur ce thème, est, avant celle des remèdes à adopter, d'abord celle des objectifs choisis : décide-t-on de situer clairement l'un par rapport à l'autre les deux aspects fondamentaux de l'optique : l'aspect géométrique et l'aspect énergétique ?

La physiologie de l'œil, on l'a vu, contribue à en brouiller les contours. L'enseignement traditionnel, lui, insiste considérablement sur la géométrie des positions et des tailles d'images, avec une hypertrophie du rôle des rayons de construction. Les questions précédentes montrent comment se construit dans ces conditions le concept d'image.

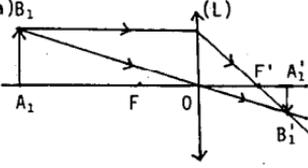
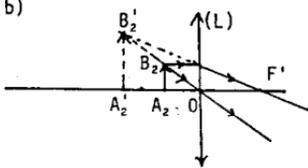
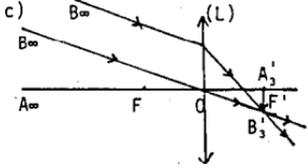
c) Dernier sous-thème que j'évoquerai ici, pour l'optique : **l'œil et son insertion dans un système optique imageur**. Nous nous sommes limités à l'analyse de la vision au premier degré, celui où l'œil est assimilé à l'ensemble d'une lentille simple à focale variable dans l'air et de la rétine.

Dans cette conception réduite de la vision, l'image perçue est la retranscription directe de l'image rétinienne.

Il nous a semblé utile d'étudier dans quelle mesure ce schéma simple de l'œil est bien maîtrisé et surtout intégré dans l'étude des systèmes optiques en général. Il est en effet frappant de voir que les chapitres et les exercices d'optique de première au Liban se répartissent en deux groupes bien distincts : ceux qui portent sur des systèmes optiques et instruments variés d'une part, ceux qui portent sur l'œil et la correction de la vision d'autre part. Dans le premier de ces groupes, l'œil apparaît par un dessin figuratif en quelque sorte parachuté sur un schéma qui n'est en général pas à la même échelle. On peut s'attendre dans ces conditions à ce que l'œil soit associé pour les élèves à divers registres de raisonnement mal intégrés les uns aux autres.

L'encadré 4 résume l'une des questions posées sur ce sous-thème et les résultats correspondants.

Ce thème de l'œil est peut-être celui où les réponses des élèves semblent les plus inhomogènes. Celles-ci sautent d'un registre à l'autre selon que la question déclenche tel ou tel automatisme d'origine scolaire ou qu'à défaut, elle suggère un recours

Peut-on voir les images des objets	1) A l'aide d'un écran ? Si oui où doit-on le mettre? et Pourquoi?			2) Avec l'œil ? Si oui, où doit-on le mettre? et Pourquoi?		
	OUI	OUI 100%	OUI	NON	OUI 66%	OUI
	NON	NON 100%	NON	OUI	OUI 50%	OUI
	OUI	OUI 100%	OUI	NON	OUI 62%	OUI
(Réf. 1-2)	ATTENDU OBSERVE MAJORITAIREMENT CORRECT			ATTENDU OBSERVE MAJORITAIREMENT CORRECT		

Encadré 4 : Image réelle, virtuelle, œil et écran.

à une idée qui semble naturelle (par exemple celle d'un œil-récepteur d'image, à situer là où est l'image).

Ce qui a été dit plus haut reste valable ici : l'entraînement à des exercices formels assez complexes, tels ceux portant sur la correction des anomalies de la vision, s'est fait pour ces élèves avec sans doute l'hypothèse implicite qu'il garantissait une compréhension de base du rôle de l'œil dans la réception des images. Or le moindre écart dans le type de question montre qu'il n'en est rien. Il apparaît que si une compréhension unifiée

du rôle de l'œil est souhaitée, il faut adjoindre ou substituer partiellement aux exercices classiques d'autres interrogations (du type des questions utilisées dans ces enquêtes, ou celles que posent des manipulations simples telle la contemplation à l'œil nu d'une image réelle « flottant dans l'espace »).

Voici donc pour cette étude qui, à travers des réponses surprenantes d'élèves :

- fournit des indications sur les difficultés habituelles,
- fournit des types de questions susceptibles d'être utilisées en classe pour mettre en évidence et contribuer à résoudre ces difficultés,
- permet de préciser l'impact pédagogique de certains exercices, ou de dispositifs introductifs, telle la chambre noire, et de trouver des remèdes simples aux difficultés observées (par exemple observer l'effet d'une pièce de monnaie posée au centre d'une lentille sur l'image que celle-ci forme d'un objet),
- conduit à reposer relativement précisément la question du contenu de notre enseignement (ainsi, voulons-nous introduire la notion d'échantillonnage, ou encore, faire une place à quelques rudiments d'énergétique optique ?)

## II. PRATIQUE ALGÈBRE EN PHYSIQUE : TENDANCES ET ENJEUX.

Le deuxième thème retenu pour illustrer les études de raisonnement à la transition Secondaire-Supérieur, est celui du caractère algébrique des grandeurs et des relations manipulées en physique. Thème rébarbatif, associé dans notre esprit à de sombres histoires de convention. Thème passionnel aussi. Je ne m'y suis risquée aujourd'hui que parce qu'il est typique des thèmes inévitables qu'on voudrait ignorer, qu'il traverse toutes nos études sur les représentations des élèves, qu'enfin il implique largement la pratique des physiciens eux-mêmes. Pour pouvoir insister un peu sur ce dernier point, je vais devoir réduire, encore plus radicalement que pour l'optique, la présentation des résultats expérimentaux. L'enquête, réalisée en fin de secondaire (5), portait largement sur des exemples d'électrocinétique. J'en retiens un seul ici pour illustrer à la fois ce qu'il faut avoir compris et les grands traits de la pratique estudiantine. Il s'agit d'un circuit comportant une capacité et une self, tel celui mentionné dans l'encadré 5.

### a) Ce qu'il faut avoir compris.

Les grandeurs intensité  $i$  et charge  $q$ , doivent être définies :

$i$  : débit de charge dans une direction convenue,

$q$  : charge d'une plaque donnée.

Pour une situation donnée,  $i$  et  $q$  pourront être positives ou négatives selon leur mode de définition.

Les valeurs algébriques de  $i$  et de  $q$  dépendent donc à la fois de la situation physique et de leur convention de définition.

Les relations entre grandeurs algébriques dépendent également de la définition de ces grandeurs. On pourra donc avoir selon les cas :

### UN TEXTE A CRITIQUER

#### Questions.

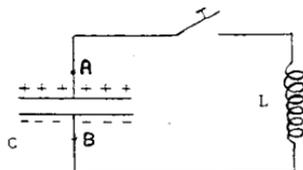
Quelles sont, dans le texte ci-dessous les conventions de signes implicites ?

Pourrait-on écrire :

$$\langle i = + \frac{dq}{dt} \rangle ; \langle V = + L \frac{di}{dt} \rangle ?$$

Si oui, à quelle(s) condition(s) ?

#### Circuit oscillant LC



Considérons un circuit électrique comprenant un condensateur de capacité  $C$  portant une charge  $q$ , un interrupteur et une bobine de self inductance  $L$ .

Étudions comment varie la charge  $q$  du condensateur (ou l'intensité  $i$  du courant dans la bobine) quand on ferme l'interrupteur.

La différence de potentiel sur le circuit fermé est nulle et égale à la somme des d.d.p. aux bornes du condensateur et de la bobine :

$$0 = V_c + V_L = \frac{q}{C} - L \frac{di}{dt}$$

Une diminution  $dq$  de la charge du condensateur entraîne l'apparition d'un courant  $i$  dans la bobine :

$$i = - \frac{dq}{dt}$$

On peut alors écrire :

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{i}{LC} = 0$$

(Réf. 5)

Encadré 5 : Un texte typique de D.E.U.G. et les questions qu'il pose.

$$V_A - V_B = \frac{q}{C} \text{ ou } V_A - V_B = -\frac{q}{C}; i = \frac{dq}{dt} \text{ ou } i = \frac{-dq}{dt}.$$

En revanche, une fois les grandeurs définies, les relations ne dépendent pas de la situation physique particulière.

**b) Les grands traits de la pratique courante, maintenant :**

1. Le plus caractérisé est l'implicite dans les définitions de grandeurs, en particulier celle, justement, de « la charge  $q$  du condensateur ». Devant une situation physique connue ou imaginée, on s'arrange pour que les définitions implicites choisies soient telles que le plus de choses possible soit positives : ainsi pour le schéma de l'Encadré 5,  $q$  est sûrement la charge de la plaque A.

2. Cette prédominance du positif peut aller jusqu'à faire changer la définition implicite en cours de problème, si la situation physique change.

$$\text{Ainsi : } \left\langle i = \frac{dq}{dt} \text{ à la charge,} \right.$$

$$\left. i = \frac{-dq}{dt} \text{ à la décharge} \right\rangle$$

... et le courant est toujours positif !

On aboutit alors à des relations prétendument algébriques qui sont en fait adhérentes à la situation physique particulière.

3. Les tendances précédentes — implicite dans les définitions, prédominance du positif et adhérence des relations aux situations — se manifestent en particulier par des commentaires parfaitement ambigus, du type :

$$\left\langle V_A - V_B = \frac{q}{C} \text{ change de signe} \right\rangle,$$

$$\left\langle V_A - V_B = Ri \text{ change de signe puisque } i \text{ change de signe} \right\rangle,$$

$$\left\langle \text{L'équation deviendra négative} \right\rangle$$

où l'on évite soigneusement de préciser si ce qui change est le signe d'une grandeur algébrique ou bien un signe de relation.

4. Pour résumer l'ensemble de ce qui vient d'être dit : «  $+q$  » et «  $q > 0$  » sont deux énoncés non différenciés.

Les bases de ces difficultés, dont l'assimilation typique «  $+q \Leftrightarrow q > 0$  », sont confortées très tôt par des pratiques enseignantes telles que les fameux « tableaux de signe » en mathématiques, dès la troisième, remplis non pas d'inégalités «  $> 0$  » ou «  $< 0$  », mais précisément de signes « + » et « - ». De là à penser que « + » signifie «  $> 0$  », il n'y a même pas un pas...

### c) Bilans et conventions.

Les deux points de vue, l'un réaliste avec prédominance du positif, l'autre algébrique conforme aux règles énoncées précédemment, se manifestent dans une opposition particulièrement claire dans l'établissement des bilans de toutes sortes. Prenons la thermodynamique et, par exemple, le premier principe.

Le point de vue réaliste s'exprime par des schémas du type (schéma 1) où les flux figurés sont tous positifs (« réels »). Le

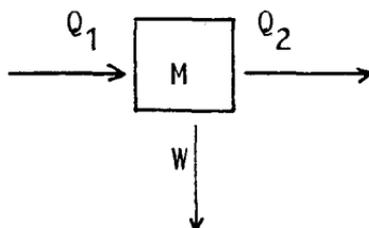


Schéma 1

premier principe, dans ce point de vue, s'exprime par l'écriture de relations algébriques entre grandeurs considérées, prioritairement, comme positives :

$$Q_1 = W + Q_2, \quad W = Q_1 - Q_2, \quad \text{etc.}$$

Telles sont les écritures naturelles, lorsqu'un support particulier, ici un moteur, permet de penser les phénomènes comme des réalités.

Mais l'écriture la plus générale du premier principe, qui précisément doit englober toutes sortes de réalités, ne peut plus être réaliste. Elle est systématique, symétrique par rapport à toutes les grandeurs impliquées :

$$Q_1 + W + Q_2 = 0.$$

Ces grandeurs ne peuvent plus être toutes pensées comme positives. Le schéma censé l'illustrer est le suivant :

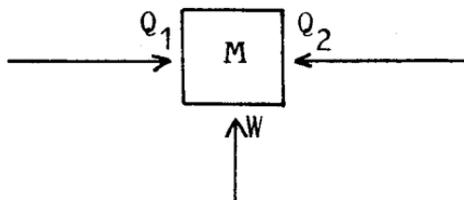


Schéma 2

Un tel schéma (2) n'est plus l'illustration d'un phénomène, il est un schéma de définition de grandeurs :  $Q_1$  est positif si l'énergie correspondante rentre dans le système. De même pour  $Q_2$  et  $W$ .

Dans le schéma 1, les deux fonctions (illustrative et de définition) coexistent harmonieusement, si bien que l'on n'est guère contraint à les spécifier.

Le schéma 2, en revanche, ne véhicule plus aucune illustration. C'est pourquoi on ne le rencontre pas. Il est pourtant tout aussi utile que l'est l'orientation pour un axe des  $x$ .

Les difficultés considérables observées chez nos étudiants et nous-mêmes dans l'écriture des bilans laissent penser qu'il serait très profitable de faire explicitement intervenir les deux statuts évoqués précédemment pour nos schémas, par exemple :

- en trait plein, la définition des grandeurs,
- en trait « creux », les illustrations réalistes.

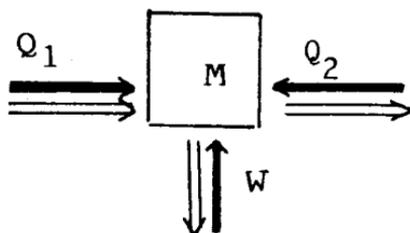


Schéma 3

Primaire, dira-t-on. Mais sûr, évidemment. Et surtout, respectable moyen de rendre aux grandeurs impliquées leur *statut de grandeurs algébriques*, et de rendre aux soi-disant conventions leur statut de *définition de grandeurs*. Ces statuts sont souvent brouillés par la pratique des physiciens eux-mêmes.

1. Lorsqu'on s'est bien embrouillé dans les chaleurs reçues qui pour être positives doivent être véritablement reçues,

et les travaux reçus dont, n'ayant pas fini le problème, on ne sait pas encore s'ils sont reçus ou fournis, on finit par se rabattre sur la chaleur échangée, le travail échangé, la puissance mise en jeu, etc. Echappatoire verbale qui laisse penser qu'on peut s'occuper du module et voir pour le signe à la fin. Parfois c'est possible — parfois non. C'est en tout cas la négation de la procédure algébrique. Et c'est aussi la porte ouverte à ces laxismes d'écritures qui juxtaposent à quelques lignes ou pages d'intervalles, les énoncés de l'Encadré 6. Curieusement, la pra-

- . La puissance dissipée par l'oscillateur du fait des frottements est  $-kX^2$
  
- . La puissance reçue par l'oscillateur du fait des frottements est  $-kX^2$
  
- . La puissance dissipée par l'oscillateur du fait des frottements est  $kX^2$ .

*Encadré 6* : Association du langage réaliste et du langage algébrique — des expressions courantes utilisées souvent indifféremment.

tique algébrique en mécanique est beaucoup plus « pure » : on accepte ainsi très bien le terme d'élongation pour un ressort, sans se demander s'il convient à un ressort raccourci.

2. C'est souvent le mot de convention qui sert de déclencheur à ces comportements terroristes anti-algébriques. Une convention de signe n'est rien d'autre que la définition d'une grandeur. Une fois la grandeur définie, on n'a plus le choix.

Dire « le travail reçu,  $W$ , est compté positivement », cela veut dire, bien maladroitement il est vrai :  $W$  est précédé d'un signe + dans la relation qui donne la variation de l'énergie interne d'un système, ou : c'est le travail des forces extérieures au système agissant sur ce système.

Dès que l'on sait de quoi on parle, il n'y a plus rien d'autre à convenir. Or, les pratiques précédentes, qui laissent penser que « le travail échangé » est une grandeur physique autonome, vont avec l'idée que le signe se décide ensuite, et pourquoi pas par convention — autant dire arbitrairement ?

Voyons ce qu'en pensent les étudiants.

Lors d'une enquête auprès d'étudiants de maîtrise (5), une série de phrases (Encadré 7) furent proposées pour une critique

. "Le travail reçu est compté positivement"  
 signifie :  $W$  est précédé d'un signe + dans la relation  
 qui donne  $\Delta U$  (système)  
 ou :  $W$  désigne le travail des forces  
 extérieures au système agissant sur ce  
 système

. "Le travail reçu est toujours positif"  
 est un énoncé :

- . incompatible avec une définition algébrique
- . identifié au premier par 30 % des étudiants de  
 maîtrise
- . rejeté parseulement 44 % des étudiants de Maîtrise

(Réf. 5)

*Encadré 7* : Deux phrases proposées en explication de texte.

de texte. Les étudiants devaient dire s'ils comprenaient l'énoncé et si celui-ci nécessitait des précisions pour être clair ; ils devaient ensuite dire si l'énoncé, éventuellement avec des précisions supplémentaires, était juste, faux, autre...

Les deux phrases suivantes donnent des résultats marquants :

- le travail reçu est toujours positif,
- le travail reçu est compté positivement.

44 % seulement des étudiants rejettent l'Enoncé 1, traitant ainsi explicitement la grandeur « travail reçu » comme une grandeur algébrique.

30 % identifient les énoncés l'un à l'autre, en dénaturant, donc, le sens que ces énoncés devraient prendre, dans une perspective algébrique.

Ces faits sont à considérer sérieusement, et à rapprocher encore une fois des difficultés majeures observées dans l'écri-

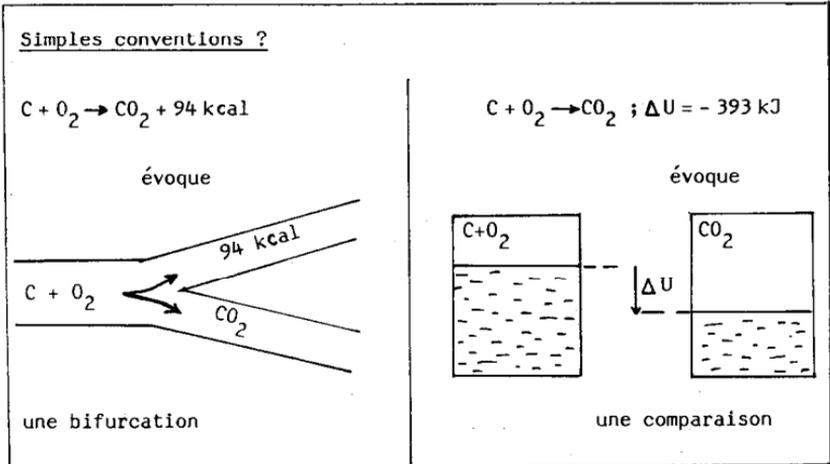
ture des bilans en physique (en électromagnétisme et thermodynamique tout spécialement).

J'ai déjà signalé en quoi la pratique courante, y compris celle des physiciens, contribuait à brouiller les choses. Il y a aussi, à un niveau plus subtil, une méconnaissance du statut d'énoncés courants, dont l'on identifie à mon avis abusivement le contenu à celui de l'application d'une simple convention. Du coup, on sous-estime les différences éventuelles dans les modes de compréhension associés.

Ainsi, pour reprendre l'exemple cité par C. RUHLA dans son article « dissonances énergétiques » (6), on peut écrire, selon respectivement la convention dite des chimistes et celle des physiciens,



Bien plus qu'une convention, c'est le type même d'analyse de la situation qui est différent (Encadré 8).



Encadré 8 : Des écritures différentes peuvent traduire des raisonnements plus différents qu'il n'y paraît.

Le premier énoncé traduit l'histoire d'un capital qui se transforme. L'image correspondante est celle d'une *bifurcation*.

Le second est la traduction d'une *comparaison* entre les valeurs de fonction associées à deux états différents d'un système.

Le premier énoncé se lit en continu, comme on suit un fleuve.

Le second comporte une rupture, un « ; » qui signifie « maintenant comparons les contenus de deux boîtes ».

L'étude en cours de Silvie MICHAUD sur les raisonnements en thermodynamique montre à quel point ces deux approches différentes déterminent des comportements différents chez les étudiants. En particulier, la seconde conduit moins souvent à des violations de la conservation de l'énergie.

## CONCLUSION.

Il est temps de conclure ce survol rapide.

En fait d'illustration, ce sont surtout les types de résultats qui en font l'objet. J'ai dû faire l'impasse sur les techniques d'acquisition. En matière de résultats, les idées que j'ai voulu introduire sont :

1° La nature des produits obtenus :

- Une analyse qui dégage des lignes directrices dans les difficultés estudiantines.
- Des méthodes de bon sens pour y parer (ex. : en algèbre, illustrer le double statut du schéma ; en optique, mettre une pièce sur une lentille en travaux pratiques)
- Des questionnaires permettant de rencontrer chaque difficulté bien dégagée, et donc de susciter des discussions et un travail fructueux en classe.
- Des lignes d'analyse du contenu de la physique qui ne recouvrent pas les séparations des chapitres de nos manuels actuels, et qui permettent d'éclairer une discussion sur le thème : que voulons-nous que nos étudiants comprennent ?

2° Le fait que ce qui vient d'être dit concerne aussi bien des domaines particuliers de la physique que des aspects plus généraux du raisonnement. Et qu'il faut croiser ces deux types d'études.

3° Enfin, nous, enseignants, sommes largement impliqués dans les difficultés de nos élèves parce que nous partageons, et parce que nos objectifs implicites, qui sont aussi les reflets de notre propre mode de compréhension, ne favorisent pas nécessairement la clarté de vue de nos étudiants sur certains points. La nécessaire et permanente réflexion à mener sur ce que nous voulons que nos étudiants comprennent peut trouver dans le type de résultats évoqués ici, quelques points d'appui.

---

## REFERENCES

1. *Image optique et Vision*. Etude exploratoire sur les difficultés des élèves de première au Liban, A. A. FAWAZ, Université Paris 7, Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, 1985.
2. *Image optique et Vision*, A. FAWAZ, L. VIENNOT, B.U.P. n° 686, pp. 1125-1146, 1985.
3. *Statut du schéma par rapport à la réalité physique, un exemple en Optique*, W. KAMINSKA, Mémoire de Tutorat, DEA de Didactique, Université Paris 7, 1986.
4. *Common sense knowledge versus formal physics knowledge in geometrical optics*, F. GOLDBERG, L. MACDERMOTT, Univ. Washington, 1984.
5. *Pratique de l'algèbre élémentaire chez les étudiants en physique*, L. VIENNOT, B.U.P. n° 622, pp. 783-820, 1980.
6. *Dissonances énergétiques*, C. RUHLA, B.U.P. n° 642, pp. 577-581, 1982.