

Symbolisme des grandeurs physiques : statut sémantique et perception des élèves

**Magnitude symbols in physics:
semantic status and student perception**

**Simbolismo de las magnitudes físicas :
estatuto semántico y percepción de los alumnos**

**Symbolismus physischer Größen: semantischer
Status und Wahrnehmung der Schüler**

Ammar OUARZEDDINE

Département de sciences de l'éducation,
Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie
ouarzeddine1@yahoo.fr

Abdelmadjid BENSEGHIR

Département de physique,
Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie
benseghir_a@yahoo.fr

Résumé

Cet article a trait à la perception du symbolisme des grandeurs physiques par des élèves de lycée et d'étudiants en début de premier cycle. On met en évidence chez ces populations, au moyen d'une enquête par questionnaires, un

mode de lecture spontanée des symboles. On fait ressortir, d'autre part, à partir de résultats d'une analyse de manuels scolaires, un lien entre la prégnance forte de cette conduite et les pratiques courantes de présentation des symboles. L'initiation à une épistémologie « minimale » de la symbolisation et la promotion d'activités d'analyse dimensionnelle figurent parmi les principales recommandations de cette étude.

Mots clés : *symbole, signe, grandeur physique, perception, lecture spontanée.*

Abstract

This paper deals with how students in high school or beginning undergraduate programmes perceive magnitude symbols. First the article clearly shows a method of spontaneous symbol reading used by those students thanks to a questionnaire survey. Then the authors use the results of a study on school books to show the link between a strong prevalence of this conduct and the common practices of symbol using. Finally this study makes strong recommendations like for instance initiating students to basic epistemology of symbolism and promoting activities on dimensional analysis.

Key words: *symbol, sign, physical magnitude, perception, spontaneous reading.*

Resumen

Este artículo se relaciona con la percepción del simbolismo de las magnitudes físicas por alumnos de instituto de enseñanza secundaria y por estudiantes de primer ciclo. Hemos puesto en evidencia en estas poblaciones, por el medio de una encuesta por cuestionarios, un modo de lectura espontáneo de los símbolos. Por otra parte, hemos puesto de relieve, a partir de un análisis de libros de texto, un vínculo entre la fuerte pregnancia de este comportamiento y las prácticas corrientes de presentación de los símbolos. La iniciación a una epistemología « mínima » de la simbolización y la promoción de actividades de análisis dimensional figuran entre las principales recomendaciones de este estudio.

Palabras clave : *Símbolo, signo, magnitud física, percepción, lectura espontánea.*

Zusammenfassung

Dieser Artikel handelt von der Wahrnehmung des Symbolismus physischer Größen für Gymnasiasten und Studenten im ersten und zweiten Semester. Mit Hilfe einer Fragebogen-Untersuchung kann man eine spontane Lesensweise der Symbolen hervorheben. Auf Grund der Ergebnisse einer Untersuchung über Schulbücher kann man andererseits einen Zusammenhang zwischen der starken Prägnanz eines solchen Verhaltens und den geläufigen Praktiken bei

der Vorstellung der Symbole erkennen. Daher empfehlen wir hauptsächlich die Einführung einer „minimalen“ Epistemologie der Symbolisierung und die Förderung von Aktivitäten der dimensional Analyse.

Stichwörter: Symbole, Zeichen, physische Größe, Wahrnehmung, spontanes Lesen.

INTRODUCTION

De nombreuses recherches didactiques ont mis en évidence, chez de larges proportions d'élèves, des difficultés d'apprentissage de la physique liées au formalisme mathématique mis en jeu dans cette discipline (Cohen *et al.*, 1983 ; Bahier *et al.*, 1991 ; Calmettes, 1992 ; Khantine Langlois & Viard, 1993 ; Rainson *et al.*, 1994 ; Albe *et al.*, 2001). De telles recherches, ayant trait en général à la résolution de problèmes, n'abordent le plus souvent qu'incidemment les difficultés d'apprentissage liées au symbolisme des formules physiques. Les rares études ayant pour objet principal ce symbolisme, se focalisant le plus souvent sur la gestion pédagogique correspondante, n'évoquent également pas ou peu ce sujet (Chaffee *et al.*, 1938 ; Hoffer, 1976 ; Mallinckrodt, 1993). Citons toutefois, comme exception, l'étude de Bouldoires (1991) dans laquelle l'auteur relevant, à l'examen de plusieurs ouvrages scolaires, qu'un même symbole est employé pour désigner différentes grandeurs énergétiques, s'interroge sur la démarche effective mise en œuvre par les élèves pour identifier le contenu des symboles en cause, notamment quand les méthodes pertinentes leur font défaut. Adhérant à une telle préoccupation, nous pensons qu'une exploration des rapports qu'entretiennent les élèves avec la dimension symbolique du formalisme, contribuerait à mieux cerner les difficultés évoquées plus haut. L'étude que nous rapportons dans cet article s'inscrit dans cette perspective. Elle concerne l'analyse de la manière dont élèves et étudiants perçoivent et lisent le symbolisme des grandeurs physiques et s'articule sur les questions de recherche suivantes :

- quel statut est attribué par les élèves aux symboles de grandeurs physiques ?
- comment les élèves justifient-ils le choix de tels symboles ?
- comment conçoivent-ils l'idée de conventionalité de ceux-ci ?

Le travail empirique engagé comprend deux volets. Le premier consiste en une enquête par questionnaire papier-crayon auprès de populations algériennes d'élèves de lycée et d'étudiants en début d'études universitaires. Le second, mis en œuvre à titre complémentaire, concerne une analyse de pratiques d'enseignement ayant un rapport avec le sujet.

Avant de faire part des résultats de ces investigations, nous présentons en premier lieu, en guise de repères épistémologiques, des éléments d'une mise au point concernant le statut sémantique du symbole de grandeur physique, et nous exposons ensuite l'hypothèse principale de la recherche.

1. SYMBOLE DE GRANDEUR PHYSIQUE : MISE AU POINT SEMANTIQUE

1.1 Nature du symbole de grandeur physique

L'étude sémantique du symbolisme des grandeurs physiques impose, de prime abord, une clarification des notions de « signe » et de « symbole », ce qui nécessite un détour par une analyse du processus général de signification. Nous nous limitons ici à l'approche saussurienne de celui-ci, basée essentiellement sur les notions corrélatives de signifié et de signifiant (Saussure, 1972). La première concerne l'idée, le concept ou l'image, c'est-à-dire le contenu sémantique visé par le procès de signification. La seconde a trait au support de désignation, vocal, graphique, gestuel, etc., du signifié considéré. Selon cette grille d'analyse, signe et symbole, qui constituent tous les deux un moyen d'évocation, se définissent chacun comme le résultat de l'association d'un signifié et d'un signifiant. Ils se différencient, toutefois, par la nature du lien unissant ces deux entités constitutives et par la fonction impartie. Moyen de reconnaissance, le symbole (du grec *symbolon*, objet coupé en deux destiné à servir de signe de reconnaissance) met en jeu un signifiant qui entretient avec le signifié correspondant un lien *motivé* ou *non arbitraire*, tenant de l'analogie, de la métaphore ou simplement de l'habitude (Wallon, 1970 ; Guiraud, 1979 ; Baylon *et al.*, 2000). À l'opposé, le signe est un instrument de communication et le rapport entre son signifiant et son signifié est *arbitraire*, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune relation intrinsèque entre le support de signification et l'entité désignée. Le symbole mathématique, qui sert à indiquer une grandeur ou une relation ou à prescrire une opération sur des grandeurs, constitue une illustration typique de la catégorie de signe, en dépit de ce que suggère la terminologie consacrée (Piaget, 1970, p. 179 ; Jameux, 2002, p. 957).

Le signe, tout comme le symbole, est conventionnel, dans le sens où le lien établi entre signifiant et signifié ne relève pas du libre choix de l'utilisateur mais de l'accord du groupe social qui l'institue. Mais alors que la conventionalité va nécessairement de pair avec une motivation dans le cas du symbole, pour le signe elle constitue, en dernier ressort, l'unique déterminant. Même si elle peut présider à la création du signe, la motivation n'est plus opérante sur le plan de la signification dès lors que le signe est établi, sa persistance étant antinomique avec la fonctionnalité de celui-ci. Cet aspect prévaut particulièrement dans le domaine de la communication scientifique comme le souligne Guiraud (1979, p. 28) : « La motivation doit donc s'effacer au profit du sens car elle risque, dans le cas contraire, de le restreindre et même de l'altérer. C'est pourquoi l'arbitraire du signe est une condition de son bon fonctionnement ; et les langues pures comme l'algèbre, se forgent des systèmes libres de toutes associations extra-conventionnelles. ».

Selon cette schématisation, le symbole de grandeur physique relève de la catégorie du signe et est rattachable au symbole mathématique. Les graphismes mis en jeu à ce titre, des lettres alphabétiques en général, sont des signifiants arbitraires et conventionnels (Jameux, 2002). Il n'y a, en effet, et à titre d'exemple, aucun lien autre que conventionnel entre l'« accélération » et la lettre grecque γ retenue pour désigner cette grandeur physique. Bien qu'une motivation puisse intervenir dans la détermination initiale du symbole (lettre abrégative du nom de la grandeur par exemple et en contexte francophone le « I » désigne souvent l'intensité de courant électrique), seule la conventionalité en conditionne l'usage ultérieur. Conformément à la terminologie sémiotique admise, l'appellation symbole de grandeur physique est inadéquate, le terme symbole devant être remplacé par le terme signe. Nous garderons toutefois cette appellation pour des raisons de commodité.

Pour cerner davantage la nature du symbole de grandeur physique, il importe de préciser également que l'affiliation de celui-ci au symbole mathématique n'implique pas néanmoins qu'il s'y réduit totalement, leurs statuts épistémologiques étant différents. Alors que le dernier renvoie à une entité conceptuelle d'abstraction totale ou formelle, le premier réfère d'une manière ou d'une autre à un aspect de la réalité, par le biais de la grandeur signifiée. Ainsi, la lettre « m » choisie pour désigner la masse d'un corps, renvoie, via le concept correspondant, à un objet précis de la réalité physique.

Bien qu'ayant en « droit » un caractère arbitraire, le choix des graphismes de symbolisation des grandeurs physiques obéit, en fait, à divers motifs plus ou moins contingents : contexte linguistique, contraintes et impératifs didactiques ou pédagogiques, etc. Cet aspect donne, en pratique, un statut assez ambigu à leur « conventionalité » qui mérite d'être évoqué, eu égard à ses implications sur les plans pédagogique et de l'apprentissage.

1.2 Ambiguïtés de conventionalité du symbole physique

L'idée de conventionalité renvoie, en général, à l'idée d'institution d'un code muni de règles explicites à suivre, assorties d'une obligation d'observance pour les usagers. De ce point de vue, l'évolution historique de la symbolisation des grandeurs physiques présente une différence importante par rapport à celle d'autres catégories d'objets scientifiques ou techniques des sciences physiques (éléments chimiques, unités de mesure, appareils, etc.). Ainsi, concernant les symboles des éléments chimiques, il s'est imposé depuis longtemps un code unifié à caractère universel, qui fait partie intégrante du matériel symbolique régulier des sciences chimiques (Soudani & Soudani, 2002). Il en va de même pour la symbolique des unités de mesure. Pour ces deux catégories de symboliques, il est plausible de dire que

la conventionalité qui les régit a un caractère d'obligation stricte dont l'observance concerne tant l'espace académique que l'espace pédagogique. Quant à la symbolique des grandeurs physiques, il semble inapproprié de parler de conventionalité au sens précisé plus haut. En tout état de cause, si l'on doit parler de conventionalité pour ces objets, il s'agirait plutôt de conventionalité « lâche » ou « distendue », imposée moins par des exigences épistémologiques que par des impératifs pédagogiques contextuels.

Il est important de noter ici que le physicien n'est pas gêné, outre mesure, par une telle distension de la conventionalité des symboles de grandeurs physiques. La stabilité d'une symbolique procure, certes, une certaine aisance opératoire dans la manipulation du formalisme mathématique concerné mais n'en constitue pas une condition essentielle. Tout un appareil conceptuel, constitué durant sa formation initiale et professionnelle, permet au physicien d'assumer de manière systématique les variations éventuelles de symbolique. Il semble peu probable que les élèves puissent disposer d'une telle compétence, notamment lorsque celle-ci n'est pas prise en charge de façon conséquente par l'enseignement. Ceci incite à s'interroger sur la manière dont ils font face à des situations mettant en jeu une multiplicité d'emploi ou des changements de symboles découlant de pratiques pédagogiques en vigueur ou liées à certaines circonstances : consultation d'ouvrages inhabituels (manuels d'édition parascolaire ou étrangère, dans la langue d'usage ou dans d'autres langues par exemple), substitution, d'ordre institutionnel, d'un symbolisme à un autre à l'interface entre deux cursus successifs (cas de la transition lycée-université en Algérie), etc. Comme réponse à ce questionnement, nous suggérons une hypothèse de conduite où la perception joue un rôle de premier plan.

1.3 Hypothèse d'une lecture spontanée des symboles

On peut, en effet, admettre que la lecture du symbole physique s'opère comme pour tout signe par la perception. Le mécanisme de cette opération s'appuie en partie sur l'habitude qui a un effet déterminant sur la reconnaissance des objets. Selon cette approche, tout stimulus au sens large du terme, laisse dans l'organisme une « trace mémorielle » qui peut ressurgir dès qu'un nouveau stimulus identique ou associé au premier intervient. Dans cette perspective, les signes jouent le rôle d'« excitants » dont l'effet est d'« éveiller » l'image mémorielle de l'objet signifié (Guiraud, 1979). En faisant crédit à ces considérations associationnistes, on peut penser que l'emploi répété de mêmes symboles engendre une perception stable du rapport de représentation correspondant chez les apprenants concernés. En l'absence d'une aptitude à réviser, au besoin, un tel rapport, ceux-ci auraient recours à un mode de lecture fondé sur leur perception habituelle des sym-

boles en cause. Une telle conduite est évidemment incompatible avec l'exigence d'une analyse dimensionnelle devant accompagner la lecture d'une formule physique. En effet, dans l'esprit d'une telle démarche, lire un symbole revient à déterminer la nature de la grandeur qu'il désigne, soit directement, par la donnée de sa dimension, ou à partir de la connaissance des autres grandeurs en jeu dans la formule physique considérée. À l'inverse, dans le mode de lecture supposé des élèves le symbole serait investi d'une propriété « intrinsèque » de désignation et sa lecture relèverait de la conduite spontanée.

2. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

2.1 Populations

Deux catégories de sujets ont participé à l'enquête (cf. tableau 0). La première correspond à des élèves appartenant aux filières scientifiques de l'enseignement secondaire algérien, cycle équivalent à celui du lycée français (âge moyen de 16 à 18 ans). L'enseignement des matières scientifiques est assuré dans ce cycle en langue arabe avec usage généralisé de caractères arabes pour l'expression des formalismes utilisés dans ces matières. La seconde catégorie est constituée d'étudiants en première et deuxième années du tronc commun de technologie et de sciences exactes, cursus préparatoire aux formations d'ingénieur ou aux études supérieures spécialisées en mathématiques et en sciences (équivalent des études de maîtrise en France dans ces disciplines). Pour ce cursus et dans le contexte des établissements où ont été passés les questionnaires, la langue d'enseignement de la physique varie d'un échantillon à un autre, entre le français et l'arabe, mais l'emploi de *caractères latino-grecs* pour la symbolisation est de règle. Afin d'éviter les biais de test, chaque échantillon dont l'effectif varie d'une trentaine à une centaine de sujets, n'est sollicité que pour la passation d'un seul de la série de questionnaires utilisés. Pour un niveau donné, l'effectif global indiqué dans le tableau correspond au cumul des effectifs des échantillons engagés.

| Niveau d'étude | 1 ^{re} AS* | 2 ^{de} AS* | 3 ^e AS* | 1 ^{re} AU** | 2 ^{de} AU** |
|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Effectif global | 283 | 397 | 119 | 240 | 38 |

(*) Année d'enseignement secondaire (second cycle)

(**) Année d'enseignement universitaire

Tableau 0 • Populations interrogées

2.2 Caractéristiques de l'enquête

Les questionnaires mis en œuvre, de type papier-crayon, mettent en jeu, chacun, une ou deux situations problèmes de physique. Celles-ci ont trait à des contenus relevant du programme officiel et faisant intervenir une relation physique simple, familière aux élèves. Ce choix obéit au souci méthodologique de ne pas parasiter le questionnement par des difficultés supplémentaires, d'ordre conceptuel ou calculatoire, non pertinentes par rapport à l'objet d'étude. La mise en forme des versions définitives de ces situations a nécessité des essais préliminaires avec des populations d'effectifs restreints que nous ne reprendrons pas ici. Les questions posées font appel à des formules exprimées en caractères arabes pour les questionnaires destinés aux élèves de l'enseignement secondaire et en caractères latino-grecs pour ceux visant les étudiants en début d'études universitaires.

Les distributions de questionnaires ont été effectuées en grande partie par les auteurs de l'article, le reste ayant été dévolu à des enseignants préalablement sensibilisés aux exigences du test (anonymat, caractère individuel des productions, exhortation des élèves à justifier les réponses, temps de composition suffisant).

Dans l'exposé des résultats, nous ne mettons en jeu que les caractères latino-grecs en faisant intervenir, le cas échéant, la correspondance entre les symboles usités dans les deux contextes précités. Par ailleurs, pour des raisons de concision et compte tenu d'une certaine homogénéité des données de l'enquête, constatée dans chacune des deux catégories de populations testées (élèves du second cycle de l'enseignement secondaire et étudiants en début d'université), nous avons regroupé, pour chaque situation, les échantillons correspondants en deux ensembles notés respectivement G1 et G2.

3. RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

3.1 Statut attribué aux symboles de grandeurs physiques

S'enquérir sur le statut « attribué » par les élèves aux symboles des grandeurs physiques engage, ici, à avoir des informations sur leur perception de ces symboles et à apprécier le degré de compatibilité de cette perception avec le statut sémantique de signe. Pour approcher ce but, nous avons privilégié comme démarche de mettre les élèves en situation de lecture de formules physiques et de voir s'ils font preuve de prise de distance vis-à-vis du caractère familier de symboles ou s'ils se confinent, au contraire, dans une lecture spontanée de ceux-ci comme le suggère notre hypothèse de recherche.

Lecture de symboles « usuels »

Dans cette première partie de l'enquête nous avons utilisé la situation 1a qui met en jeu la loi d'Ohm appliquée à un dipôle passif, connue par les élèves depuis la dernière année de collège (cf. encadré 1, version 1a). Pour conférer une certaine validité aux résultats nous avons utilisé également, de manière indépendante, une autre version de la situation précédente, en gardant le même énoncé de base. La question fait intervenir, dans ce cas, une expression similaire à celle qui est en jeu mais où apparaît un signe non familier, la lettre « s » (cf. encadré 1, version 1b).

Concernant la version 1a, il est attendu des élèves une mise en correspondance terme à terme des deux expressions, et la reconnaissance de leur équivalence, moyennant la mise en jeu de la définition formelle de l'intensité de courant et l'affirmation de la condition d'association au signe (q), de la dimension d'une charge électrique. Pour la version 1b, un raisonnement similaire devrait aboutir au choix, correct, de la proposition (a).

L'expression $U=RI$ permet d'écrire, en régime de courant continu, la loi d'Ohm appliquée à un dipôle passif (résistor). U , R et I désignent respectivement, une différence de potentiel, une résistance électrique et une intensité de courant électrique.

Version 1a

Peut-on aussi exprimer la loi d'Ohm au moyen de l'expression $U = R.q/t$ dans laquelle U , R et t désignent respectivement, une différence de potentiel, une résistance électrique et une durée de temps ? Entourez la réponse qui vous semble correcte et justifiez-la.

Oui

Non

Version 1b

On considère les deux expressions :

$$U = R.s/t \quad (1)$$

$$U = R.q/t \quad (2)$$

dans lesquelles U , R et t désignent respectivement, une tension électrique, une résistance électrique et une durée de temps. Parmi les propositions ci-dessous, laquelle vous paraît-elle correcte ? Justifiez votre choix.

- Chacune des deux expressions (1) et (2) permet d'exprimer la loi d'Ohm.
- Une seulement parmi les deux expressions (1) et (2) permet d'exprimer la loi d'Ohm ; laquelle ?
- Aucune des deux expressions (1) et (2) ne permet d'exprimer la loi d'Ohm.

Encadré 1 • Situations 1a et 1b

À propos de la situation 1a, la majorité des élèves et des étudiants interrogés optent pour la réponse « Oui » (cf. tableau 1), sans toutefois faire référence de manière explicite à la nécessité de préciser la désignation adéquate du signe (q). Le plus souvent, celle-ci apparaît dans leurs commentaires comme allant de soi : (q) désigne « naturellement » une quantité d'électricité.

| | N* | Oui (correcte) | Non | Sans réponse |
|----|-----|----------------|--------|--------------|
| G1 | 144 | 79,9 % | 17,3 % | 2,8 % |
| G2 | 91 | 80,2 % | 14,3 % | 5,5 % |

(*) Effectif des élèves ou des étudiants interrogés.

Tableau 1 • Situation 1a, fréquence des réponses en pourcentages

La quasi-totalité des justifications avancées s'appuient sur la formule de l'intensité de courant électrique exprimée au moyen des symboles usuels. Un étudiant écrit dans ce sens : « Parce que l'intensité du courant électrique est la quantité d'électricité traversant un conducteur pendant une seconde. On a donc $q = I.t \implies I = q/t$. On remplace (I) dans la loi d'Ohm, on obtient $U = R.q/t$. ». À propos de la réponse « Non », les justifications présentées tant par les élèves que par les étudiants s'articulent essentiellement autour de l'idée d'unicité de représentation de la loi d'Ohm par l'expression usuelle $U = R.I$.

Cette tendance à lire spontanément les symboles familiers ressort encore davantage à l'examen des résultats relatifs à la version 1b. En effet, le choix de la proposition (a), susceptible de mettre en doute une telle tendance, n'obtient la faveur que d'une minorité d'élèves et d'étudiants (cf. tableau 2). Par ailleurs, la quasi-totalité de ceux-ci assujettissent, certes, les symboles (q) et (s) à la condition de spécification du contenu physique mais pour certains d'entre eux le symbole (q) reste en quelque sorte le symbole de référence. Ainsi peut-on lire : « Les deux expressions peuvent exprimer la loi d'Ohm parce que $U = R.I \hat{=} U = R.q/t$, (q) quantité d'électricité, (t) le temps nécessaire. Il est possible d'utiliser (s) pour désigner la quantité d'électricité donc $s = q$ [...] ». (2^{de} AS).

| | N | a (correcte) | b | c | Sans réponse |
|----|-----|--------------|----------------|---------|--------------|
| G1 | 266 | 12, 8 % | 70, 3 % | 13, 2 % | 3, 7 % |
| G2 | 84 | 7 % | 63, 1 % | 26, 2 % | 0 % |

Tableau 2 • Situation 1b, fréquence du choix des propositions

À l'opposé, le choix prédominant de la proposition (b) concerne indirectement l'expression (2) où figure le symbole familier (q). Dans les justifications correspondantes, la signification de ce symbole apparaît comme évidente comme le suggère cet exemple : « Seule l'expression (2) permet d'exprimer la loi d'Ohm car $I=q/t$ [...] ; concernant l'expression (1), on ne connaît pas le sens de (s) qui ne peut certainement pas être identifié à (q). Donc, l'expression (1) est fautive ». (1^{re} AS).

Les données précédentes dénotent un mode de lecture des symboles physiques fondé sur un registre personnel de correspondance symboles-grandeurs. Les symboles sont ainsi détachés du contexte de la formule considérée et lus sur la base de leur désignation habituelle. On peut alors s'attendre qu'une telle conduite affecte l'appréhension de formules physiques inédites ou faisant intervenir des symboles non usuels.

Perception des symboles et appréhension de formules

Pour mettre à l'épreuve l'hypothèse précédente, nous avons utilisé la situation 2 (cf. encadré 2) qui présente la particularité par rapport aux situations précédentes de mettre en jeu une énonciation verbale, familière aux élèves, d'une loi, en l'occurrence celle dite de Pouillet. Les expressions proposées comprennent les deux expressions « usuelles » de cette loi (E1 et E4) et des expressions de forme similaire à celles-ci. Le codage des signes algébriques « + » et « - » en jeu correspond au codage courant (généralement implicite) des grandeurs concernées (cf. Viennot, 1983).

La loi d'Ohm appliquée à un générateur en circuit fermé (loi de Pouillet) peut s'énoncer ainsi :
« La différence de potentiel aux bornes d'un générateur électrique en circuit fermé est égale à sa force électromotrice moins le produit de sa résistance interne par l'intensité du courant qui le traverse. »

On considère les expressions suivantes :

$$E_1 : U = E - r.l$$

$$E_2 : U = d - r.l$$

$$E_3 : Y = a.X + b$$

$$E_4 : E = U + r.l$$

$$E_5 : h = d - w.k$$

Parmi les énoncés ci-dessous, lequel vous paraît-il correct ? Justifiez votre choix.

- Aucune des expressions citées ne permet d'exprimer la loi de Pouillet.
- Une ou des expressions seulement parmi celles citées permettent d'exprimer la loi de Pouillet ; laquelle ou lesquelles ?
- Toutes les expressions citées permettent d'exprimer la loi de Pouillet.

Encadré 2 • Situation 2

| | N | a | b | c (correcte) | Sans réponse |
|----|-----|-------|--------|--------------|--------------|
| G1 | 201 | 0 % | 90,0 % | 9,0 % | 1,0 % |
| G2 | 171 | 4,1 % | 76,6 % | 17,6 % | 1,7 % |

Tableau 3 • Situation 2, fréquence du choix des propositions

Moyennant une définition adéquate des graphismes employés, il est possible d'utiliser ces différentes expressions pour écrire la loi visée, la question posée n'exigeant pas une traduction littérale de l'énoncé. Le choix correct est donc celui de la proposition (c). Celle-ci n'est en fait retenue que par une minorité d'élèves et d'étudiants, la préférence de ceux-ci allant principalement à la proposition (b) (cf. tableau 3). Pratiquement, toutes les justifications avancées à ce propos s'appuient, soit sur l'identification directe des symboles ou sur le rejet des expressions composées de signes jugés inconnus. Dans ce sens, un élève de 1^{re} AS écrit : « Les expressions adéquates sont (1) et (4) car les mots existant dans la loi sont eux-mêmes les symboles figurant dans ces deux expressions, sachant que l'expression (4) n'est pas l'énoncé lui-même mais est déduite de l'expression (1) qui est en conformité avec l'énoncé ». Dans la même optique, un autre élève établit nettement un rapport entre les symboles familiers et les grandeurs introduites dans l'énoncé :

« J'ai choisi les expressions (1) et (4) parce que ces deux expressions expriment la même loi d'Ohm et incluent les mêmes composants de l'énoncé : la tension électrique (U), la résistance interne (r), l'intensité de courant (I) et la force électromotrice (E) ». Ce même élève rejette les autres expressions considérant qu'elles contiennent des symboles n'exprimant pas ce qui se trouve dans le circuit fermé ». (1^{re} AS). La distinction entre formules physiques et formules mathématiques apparaît comme un argument principal du refus quasi-général de l'expression (3). Ainsi pour un élève de 2^{de} AS, mises à part les expressions (1) et (4), les autres expressions sont des « équations spécifiques aux mathématiques ou des équations n'appartenant ni à la physique ni aux mathématiques comme la n° 2 ». Les motifs du rejet massif des expressions (2), (3) et (5) sont résumés dans ce commentaire d'un élève de 1^{re} AS : « L'expression (2) contient un symbole inconnu, l'expression (3) se rencontre en mathématiques, et la (5) n'a aucun sens ».

La hiérarchie ainsi observée dans le choix des expressions proposées est objectivée au moyen du tableau 4. L'examen de celui-ci permet, d'une part, de confirmer le classement en tête de l'expression (1), suivie de l'expression (4) et de relever, d'autre part, un fait important : la présence d'un seul signe non usuel dans l'expression (2) (la lettre d), suscite une désaffection notable des élèves pour celle-ci, comparaison faite avec les expressions (1) et (4).

| | <i>N</i> * | E ₁ | E ₄ | E ₂ | E ₃ | E ₅ |
|----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| G1 | 181 | 93, 4 | 53, 6 | 16, 6 | 9, 9 | 9, 9 |
| G2 | 131 | 84, 7 | 53, 0 | 34, 6 | 5, 3 | 4, 4 |

* Effectif des élèves ou des étudiants ayant choisi la proposition (b).

Tableau 4 • **Situation 2, fréquence des expressions**

Ces éléments d'analyse sont confirmés indirectement par les justifications relatives au choix de la proposition (c). En effet, la majorité des élèves et des étudiants ayant opté pour cette proposition retiennent, en premier lieu et de manière directe, les expressions (1) et (4), puis étendent leur choix aux autres expressions par une procédure de comparaison terme à terme de celles-ci avec celles-là. Dans cette catégorie d'élèves, certains affichent plus ou moins discrètement leur préférence pour ces dernières expressions. Un étudiant écrit : « Toutes les expressions proposées permettent d'exprimer la loi précédente, bien que les expressions (1) et (4), dans lesquelles la ddp. est U, la fem. est E, la résistance interne est r, et l'intensité de courant est I, soient les plus précises et les plus correctes [...] ».

Les résultats précédents montrent que la majorité des élèves manifestent un attachement aux symboles « familiers » incompatible avec le

caractère d'arbitraire devant régir le rapport entre symboles et grandeurs physiques. Pour clarifier davantage cette conduite, nous avons étendu l'exploration aux représentations concernant les deux aspects de la fonctionnalité des symboles que sont le choix et la conventionalité.

3.2 Perception du choix et de la conventionalité des symboles

Pour ce point, l'investigation est opérée dans un premier temps au moyen de la situation 3 (cf. encadré 3). La réponse correcte à la question posée, se justifiant par le caractère arbitraire du choix des symboles, correspond à la proposition (1), minorée par l'exclusion, pour raison d'homogénéité dimensionnelle et de cohérence sémantique, des lettres k et x . Exception faite du niveau universitaire, cette proposition n'est retenue que par une minorité des sujets interrogés. La proposition (2) est choisie par près de la moitié des élèves et du tiers des étudiants interrogés. Elle confirme l'attachement des élèves aux symboles usuels évoqué plus haut. La proposition (3), qui constitue l'élément clé de la situation en question, retient l'attention d'une proportion significative des mêmes sujets (cf. tableau 5).

L'expression $T = k \cdot x$ signifie que la tension (T) d'un ressort a pour valeur le produit de la constante de raideur (k) de celui-ci par son allongement (x).
 Parmi les énoncés suivants, lequel vous semble-t-il correct ? Justifier votre choix.

1. Il est possible de conserver à l'expression ci-dessus le même sens physique en remplaçant la lettre (T) par n'importe quelle autre lettre.
2. Il n'est pas possible de conserver à l'expression ci-dessus le même sens physique en remplaçant la lettre (T) par une autre lettre.
3. Il est possible de conserver à l'expression ci-dessus le même sens physique en remplaçant la lettre (T) par seulement un nombre restreint d'autres lettres ; lesquelles ?

Encadré 3 • Situation 3

| | N | Prop. 1 | Prop. 2 | Prop. 3 | Sans réponse |
|----|-----|---------|---------|---------|--------------|
| G1 | 312 | 13, 1 | 54, 2 | 31, 4 | 1, 3 |
| G2 | 23 | 39, 0 | 30, 5 | 30, 5 | 0 |

Tableau 5 • Situation 3, fréquence des choix des propositions

Le choix de la proposition (1) est généralement justifié par l'argument du caractère arbitraire du symbole physique, appuyée par l'idée plus ou moins explicite de stabilité de l'usage des symboles. Quelques justifications émanant d'étudiants font appel au motif linguistique : vu la diversité des langues d'enseignement d'un pays à un autre, ou pour le cas du système éducatif algérien, d'un cycle à un autre (transition lycée-université), le choix des symboles ne peut pas être définitif. Enfin, quelques rares étudiants font preuve d'une analyse dimensionnelle pour répondre à la question : « Le sens

physique de l'expression $T=k.x$ restera le même à cause du produit de la constante de raideur par l'allongement qui signifie toujours la tension. Si on trouve, par exemple, $h=k.x$, on en déduit que (h) est la tension d'un ressort » (1^{re} AU).

Les justifications correspondant au choix de la proposition (2) s'articulent autour de deux types d'arguments :

- la substitution de (T) par une autre lettre entraîne l'altération du sens physique de la relation en question. Dans ce sens, peut-on lire : « Parce que $T=k.x$ est une expression inéchangeable ; si on change (T), l'expression $T=k.x$ changera de sens et deviendra fausse. (T) est le symbole de la tension, il ne peut être remplacé par aucun autre symbole » (2^{de} A.S) ; « Si on change le symbole (T) par un autre signe, l'expression $T=k.x$ deviendra une autre formule et prendra un autre sens correspondant au nouveau symbole introduit ». L'exclusivité de désignation de la tension par la lettre (T) affichée dans de telles justifications, confirme assurément l'idée d'implication du type de lecture mis en évidence précédemment dans le traitement de ce genre de situation ;
- les symboles ont un caractère conventionnel qui doit être respecté. À ce propos, un élève soutient que « le symbole (T) est conventionnel, c'est-à-dire choisi par des physiciens pour désigner un sens unique qui est la tension d'un ressort ».

Enfin, les élèves et les étudiants optant pour la proposition (3) se réfèrent en majorité à des situations physiques schématisées pour envisager la possibilité de substituer le symbole (T) par un certain nombre de symboles ayant pour point commun le fait de représenter habituellement des grandeurs assimilables à une force (poids d'un corps, réaction du sol, etc.). Les propos ci-dessous sont explicites à ce sujet : « Car la tension est une force, on peut la remplacer par l'un des deux symboles (P) ou (F) ». Les symboles pouvant se substituer à (T) : la force (F) et le poids (P) car elles possèdent la même unité de mesure (Newton), on peut les additionner dans un schéma donné et, enfin, elles ont presque le même effet, soit l'attraction, la propulsion ou la pesanteur » (3^e AS).

Pour préciser cette tendance à regrouper des symboles en catégories selon la nature des grandeurs physiques représentées et à admettre leur interchangeabilité nous avons mis en œuvre la situation 4 (cf. encadré 4).

L'expression $T = k.x$ signifie que la tension (T) d'un ressort a pour valeur le produit de la constante de raideur (k) de celui-ci par son allongement (x).

Pour chacune des deux propositions suivantes, entourez la réponse qui vous semble correcte et justifiez-la.

1. Il est possible de remplacer la lettre (T) dans l'expression précédente par la lettre (F) sans en affecter le sens physique. Oui Non
2. Il est possible de remplacer la lettre (T) dans l'expression précédente par la lettre (L) sans en affecter le sens physique. Oui Non

Encadré 4 • Situation 4

Concernant la première proposition, les élèves se partagent entre les réponses « Oui » (correcte) et « Non » dans une proportion voisine de 2/3, 1/3. Cette distribution s'inverse de manière nette lorsqu'il s'agit de la seconde proposition (cf. tableau 6). Il semble bien donc que les signes (F) et (L), bien qu'indéfinis tous les deux, soient différemment perçus quant à leur « faculté » de désigner la tension d'un ressort habituellement représentée par la lettre (T). Ce jugement est confirmé par les justifications proposées.

| | N | Prop.1 | | | Prop.2 | | |
|----|-----|------------|------|-----------|------------|------|-----------|
| | | Oui (cor.) | Non | Sans rép. | Oui (cor.) | Non | Sans rép. |
| G1 | 107 | 66,4 | 32,7 | 0,9 | 23,4 | 72,9 | 3,7 |
| G2 | 84 | 69,1 | 26,2 | 4,7 | 15,5 | 77,4 | 7,1 |

Tableau 6 • Situation 4, fréquence des choix de propositions

À propos de la proposition (1), la quasi-totalité des élèves qui ont choisi la réponse « oui » considèrent explicitement que le symbole (F) peut remplir la fonction demandée, vu que la tension d'un ressort a la nature d'une force, laquelle admet pour représentation symbolique ce même signe. Ainsi, peut – on lire ces propos : « On peut remplacer (T) par (F) parce que (F) désigne une force et (T) est une force également » (2^{de} AS). Le choix de la réponse « non » renvoie principalement à deux types d'arguments :

- différence entre tension (T) et force (F) : Les élèves concernés par cet argument perçoivent (F) comme le symbole d'une force, mais la nuance qu'ils voient entre celle-ci et une tension est jugée assez importante pour nécessiter une représentation des deux types de grandeurs par des symboles distincts. Un élève exprime ainsi cette nuance : « On ne peut pas remplacer T par F car T représente la tension d'un ressort qui dépend de son allongement » (1^{re} AS) ;
- respect du caractère conventionnel des symboles. L'ensemble des justifications correspondantes évoque la nécessité de respecter l'usage habituel des symboles physiques du fait que le choix de ceux-ci relève de la convention. Ainsi, un élève de 2^{de} AS écrit dans ce sens : « J'ai choisi la réponse non car le symbole de la tension est (T). Les symboles sont conventionnels et universels ; (T) est arraché du mot tension. ».

Concernant la proposition (2), seules les justifications relatives à la réponse majoritaire « Non » présentent une certaine cohérence. Le symbole (L) y apparaît unanimement comme étant nécessairement associable à une longueur et ne pouvant en aucun cas désigner une grandeur différente telle que la tension d'un ressort. Les commentaires suivants illustrent ce type d'argument : «...Parce que l'unité de la longueur est le mètre et pour la tension l'unité c'est le Newton. Donc, il y aura un problème ou un défaut en cas de changement de (T) par (L) » (2^{de} AS) ; «...Parce qu'il n'y a pas de relation entre la longueur et la tension ». (1^{re} A.S)

Les résultats relatifs aux situations 3 et 4 confirment donc, d'une part, une tendance à lire spontanément les symboles physiques « usuels », en les détachant du cadre de la formule considérée, et mettent en évidence, d'autre part, une certaine interchangeabilité des symboles fondée sur la proximité de nature de grandeurs physiques. Une telle interchangeabilité ne couvre apparemment pas le caractère d'arbitraire mais constitue plutôt une dérogation à l'attachement aux symboles usuels, motivée par le besoin d'intégrer des éléments d'un acquis scolaire (exemple de la résolution de problèmes où interviennent plusieurs grandeurs de même nature comme le cas de l'étude des corps en équilibre). L'idée de conventionalité, assez peu évoquée au demeurant dans les justifications des élèves, semble se rigidifier et contribuer avec l'habitude à une forte motivation du rapport signifiant-signifié concernant les symboles en discussion.

L'éclairage apporté aux questions de départ par ces données de l'enquête se résume en ce qu'un certain statut est accordé par la majorité des élèves testés au symbole de grandeur physique, lequel statut s'apparente au statut sémantique de symbole plutôt qu'à celui de signe. Sur le plan psychocognitif, une explication partielle de ce « glissement » de statut résiderait dans l'idée que le symbole se prête préférablement au signe à l'élaboration de représentations individuelles spontanées concernant un aspect du réel (Piaget, 1970). Le signe, qui est un outil de la représentation collective ou « dépersonnalisée », exige pour son assimilation, des efforts conséquents d'abstraction et de décentration de la part des apprenants. En fait, les comportements d'élèves décrits peuvent être rapprochés d'un certain rapport aux graphismes symboliques que développe le physicien lui-même dans sa pratique quotidienne. Comme l'observe Levy-Leblond (1998, p. 75), « ces graphismes, pourtant à l'origine parfaitement contingents, finissent par porter une véritable charge ontologique dans la perception du physicien ». Notons, toutefois, que pour ce dernier une telle « ontologisation » du graphisme symbolique n'est pas essentielle et est pleinement assumée. Il s'en départit, d'ailleurs, dès que nécessaire. En cas, par exemple, de mise en jeu d'un signe inhabituel dans une relation physique donnée, l'appareil de l'analyse dimensionnelle et conceptuelle est vite mis en branle. Cela ne semble pas être le cas pour la conduite des élèves qui ne peuvent, raisonnablement, faire preuve d'une telle vigilance. On peut s'attendre ainsi à ce que l'introduction partielle ou totale d'une nouvelle symbolique donne lieu à une appréhension correspondante par les élèves s'appuyant prioritairement sur une lecture perceptive. Dans ce sens, les nouveaux symboles introduits pourraient être l'objet soit d'un rejet implicite soit d'une reconnaissance indue, ce qui ne manquerait pas d'être préjudiciable à l'apprentissage visé.

Compte tenu de la forte prégnance du mode de lecture mis en évidence, nous avons tenté d'en chercher les facteurs favorisants dans les pratiques d'enseignement en vigueur, à travers notamment les contenus enseignés.

4 ANALYSE DE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT

Les pratiques pédagogiques concernant la symbolisation, comme celles relatives à d'autres objets d'enseignement, dépendent de nombreuses variables parmi lesquelles figurent les choix didactiques en vigueur et les fonctions assignées au manuel scolaire. C'est principalement sur celui-ci que notre analyse va porter, sachant qu'il constitue un outil de transposition didactique et qu'outre son influence sur les pratiques d'enseignement, il peut favoriser ou être en résonance avec des conduites intuitives des élèves. L'analyse de manuels proposée vise donc à connaître les contenus véhiculés liés à l'objet d'étude et à renseigner également, indirectement, sur les pratiques pédagogiques visées.

4.1 Revue critique de manuels

Nous avons examiné pratiquement tous les manuels scolaires couvrant les cours de physique, utilisés pendant les deux dernières décennies en Algérie dans les cursus de collège et de lycée. Il s'agit précisément de huit manuels officiels d'édition publique et de trois ouvrages d'aide scolaire d'édition privée. Nous avons, d'autre part, élargi cet examen à une dizaine d'ouvrages similaires français. Cette dernière démarche est motivée par le fait que la consultation de tels ouvrages est assez fréquente chez les enseignants en charge des enseignements de physique aux niveaux visés dans cette étude. Elle répond, d'autre part, au souci de donner à l'analyse une plus grande portée.

Modalités de présentation des symboles

La représentation des grandeurs physiques par des lettres alphabétiques a cours dès les niveaux d'initiation aux sciences physiques. Dans les manuels correspondants consultés, on peut relever l'usage d'un certain nombre de symboles pour désigner des grandeurs physiques de base, ainsi que des unités de mesure. Aucune allusion à l'opération de symbolisation mise en jeu n'y apparaît cependant. Les symboles sont en général introduits de manière implicite comme attribut des grandeurs visées ou selon une présentation directe. En tous les cas, aucune indication concernant le statut sémantique (signe arbitraire mais conventionnel) du symbole n'apparaît dans les présentations rencontrées. Ainsi, dans le manuel scolaire algérien couvrant les sciences physiques en début de collège, les symboles de la masse, du volume et de la masse volumique d'un corps solide sont introduits ensemble, après un exposé d'une série d'opérations expérimentales à partir de la question suivante : « Calculer le rapport de chaque masse à son volume, $m/n = s = \dots$ » (MEN, 1983, p. 35). Dans le nouveau manuel de même

niveau (MEN, 2003, p. 12], on peut lire également : « Mettre par exemple une pomme de terre dans un tube gradué contenant une quantité d'eau de volume V_1 . Enregistrer le volume V_2 de l'eau et de la pomme de terre ensemble. » On retrouve le même procédé de présentation dans des manuels français de collège : « Le quotient P/m est un coefficient de proportionnalité, notée g , caractéristique du lieu où se trouve le corps. Ce quotient est appelé intensité de la pesanteur » (Baurrier *et al.* 1998, p. 189). «... L'intensité d'un courant électrique, notée I , se mesure en ampères [...]. » (Bernon *et al.*, 1999, p. 77).

Les manuels du second cycle de l'enseignement secondaire (lycée) n'échappent pas également aux observations précédentes. À titre d'illustration, on peut lire : «...la force est une grandeur vectorielle, on la représente donc par un vecteur, et on écrit \vec{F} [...]. » (Brahmi & Tachoua, 1995, p. 169) ; « Le rapport U_{AB}/I est constant. Il caractérise le conducteur ohmique considéré et est appelé sa résistance électrique. Nous noterons celui-ci R . » (Bouland *et al.*, 1993, p. 44).

Outre le défaut d'explicitation de la démarche de symbolisation, certaines présentations laissent penser que les symboles utilisés possèdent l'exclusivité de désignation. Cet aspect apparaît, par exemple, dans ces extraits : « La rotation est l'effet de la force et de l'existence d'un axe de rotation. Ces deux facteurs, force et axe de rotation, s'expriment par une grandeur physique appelée moment de la force par rapport à l'axe de rotation (D). On le représente par *le symbole qui exprime ce concept* (M_F) et par définition : $\|M_F\| = F \cdot d$ » (Benabdallah, 1989, p. 217) ; «... Si la distance focale s'exprime en mètre, la vergence s'exprime en dioptrie, de symbole $\%$. » (Dégurse *et al.*, 1989, p. 329) ; « On appelle chaleur le transfert lié à un très grand nombre d'interactions microscopiques désordonnées. Nous noterons toujours Q l'énergie transférée par chaleur ». (Tomasino *et al.*, 1994, p. 94).

Prévalence des symboles durant les cycles d'enseignement

D'une façon générale, les mêmes symboles sont pour la plupart gardés tout au long des cycles de l'enseignement post-primaire. Il semble que la règle implicite du choix des symboles correspond à l'usage des lettres initiales des noms des grandeurs désignées, ce qui est conforme à certaines recommandations officielles. Par exemple, le poids d'un corps est désigné par la lettre « P », la tension d'un ressort par « T » et l'intensité du courant électrique par (I). Ces recommandations sont cependant loin d'être strictement respectées. En effet, un recensement des symboles usités dans les manuels de l'enseignement secondaire examinés permet de constater l'utilisation d'un même symbole pour représenter plusieurs grandeurs de différents domaines de la physique. A titre d'exemple, le symbole « f » représente l'indice de réfraction absolue d'un milieu optique en 1^{er} AS alors qu'en 3^e AS, il est utilisé pour désigner la fréquence d'oscillation d'un phénomène pério-

dique. Une telle pratique ne semble pas constituer un gage pour une prise de conscience de la démarche de symbolisation. Ceci peut s'interpréter à la fois par le caractère implicite de cet usage et par la déconnexion consacrée entre les différents domaines de la physique découlant de la structuration des contenus enseignés.

Permettant un gain du temps didactique et inspirant un certain sentiment de stabilité pour les apprenants, l'usage d'une même symbolique le long d'un cursus scolaire compte sans doute parmi les éléments à prendre en considération dans une transposition didactique de la physique. Les avantages évoqués ne doivent cependant faire oublier les risques qu'un tel conformisme fait encourir à l'apprentissage visé, faute d'une prise en charge didactique adéquate du processus de symbolisation.

Analyse dimensionnelle

La mise en jeu de l'analyse dimensionnelle a rarement cours dans les manuels examinés. Le cas échéant, cette activité n'est pas visée pour elle-même mais constitue un moyen d'introduction de grandeurs ou de relations physiques difficilement abordables par les procédés didactiques habituels. Cette démarche est utilisée par exemple dans le manuel de 1^{re} AS pour introduire la résistance interne d'un générateur électrique en circuit fermé, à l'occasion de la mise en évidence de la loi de Pouillet à partir de données expérimentales. La même démarche apparaît également dans l'ouvrage de terminale S de Tomasino *et al.* (1995, p. 187 et 247) à propos de la détermination de la formule de la période d'oscillation des pendules mécaniques et des oscillateurs électriques, en l'absence d'autres approches des questions accessibles aux élèves.

Il apparaît donc clairement que l'activité de symbolisation n'est pas mise en valeur dans les manuels examinés, ce qui laisse la porte ouverte au développement ou au renforcement de liens intuitifs entre les symboles utilisés et les grandeurs désignées. On retrouve ainsi le fait qu'un aspect important de la physique est relégué au rang de l'implicite par l'enseignement courant, à l'instar de ce qui prévaut par exemple pour le schéma électrique, la définition des constantes physiques, etc. (Johsua, 1982 ; Viennot, 1982; Benseghir, 1993).

4.2 Analyse de pratiques pédagogiques

Mises à part des appréciations constituées au cours des passations de questionnaires, nous ne disposons pas au stade actuel de notre recherche de données systématiques sur la réalité des pratiques pédagogiques concernant la symbolisation. Il est plausible, néanmoins, de leur prêter les mêmes insuffisances que celles mises en exergue dans les manuels

scolaires. À l'appui de ce jugement, on peut invoquer deux facteurs. Le premier consiste dans le choix didactique plus ou moins explicite de ne pas « surcharger » l'apprentissage de la physique par des considérations touchant au statut des symboles ou à l'analyse dimensionnelle. Il va de soi que dans cette optique l'entraînement des élèves à prendre en compte le contexte où intervient le symbole ne peut représenter au mieux qu'un objectif accessoire. La prégnance de cette attitude, accusable dans différents contextes scolaires (Hoffer, 1976 ; Bouldoires, 1991), a pu effectivement être vérifiée auprès de nombreux enseignants dans les établissements où ont été passés les questionnaires. Le second facteur consiste dans le statut institutionnel local du manuel scolaire. Dans le contexte de notre étude, celui-ci représente la principale voire l'unique référence pour l'élève, et constitue, à défaut d'orientations pédagogiques officielles, une référence de repli pour les enseignants. On comprendrait dans ces conditions que les carences observées dans les contenus de manuels puissent dépendre sur les pratiques de ceux-ci, particulièrement en ce qui concerne le sujet en question.

5. IMPLICATIONS PÉDAGOGIQUES

Il est admis qu'un apprentissage harmonieux de la physique doit impliquer une aptitude à assumer tout changement de symbolique. À cet égard, il apparaît crucial que les apprenants soient initiés à une épistémologie « minimale » de la démarche de symbolisation. Celle-ci devrait insister sur le caractère arbitraire et conventionnel des symboles avec la prise en compte des impératifs de stabilité de la symbolique (facilité opératoire, gain de temps, etc.) en rapport avec les exigences de la communication scientifique. Dans ce sens, il est souhaitable de faire sortir cette démarche de l'implicite et d'en faire un objet d'enseignement dans les cursus concernés. Les activités pédagogiques correspondantes pourraient prendre la forme de séquences d'enseignement ponctuelles et de mises au point plus diffuses et étalées dans le temps. Ces activités gagneraient encore à être renforcées par des exercices qualitatifs visant à faire sentir le rôle de la symbolisation et les exigences du langage de la physique : détermination du contenu de symboles, analyse dimensionnelle adaptée au niveau considéré, etc.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude mettent en évidence chez des populations d'élèves de lycée et d'étudiants en début d'université une tendance à attribuer aux signes constitutifs de formules physiques, une valeur de représentation de grandeurs physiques, intrinsèque et définitive. La lecture d'une formule se fait ainsi par référence à un « registre » personnel de correspon-

dance symboles - grandeurs. Dans ce mode de lecture, les symboles sont lus sur la base de ce qu'ils désignent habituellement, sans prise en compte du contexte de la formule considérée. Cet attachement au symbolisme familier s'avère d'une ampleur qui dépasse le simple niveau de confort compréhensible, procuré par la manipulation de graphismes symboliques habituels. Il s'agit d'une conduite incompatible avec le statut sémantique du symbolisme en cause et pouvant être source de difficultés d'apprentissage de la physique liées à l'approche du formalisme correspondant. La réduction partielle d'une telle conduite à des difficultés liées au statut de signe des symboles constituerait une piste pour un éclairage plus profond du sujet. Ces données, qui nécessitent, sans doute, d'être affinées, suggèrent de réviser les modalités courantes de présentation des symboles et d'accorder une plus grande importance aux activités permettant de réhabiliter l'aspect symbolique du langage de la physique. Mais de telles dispositions ne prendraient vraiment sens que lorsque les ambiguïtés entachant le sujet soient levées tant sur le plan de la transposition didactique que sur celui de la formation des maîtres.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBE V., VENTURINI P. & LASCOURS J. (2001). Electromagnetic concepts in mathematical representation of physics. *Journal of science Education and technology*, vol. 10, n° 2, p. 197-203.
- BAHIER D., COUCHOURON M., GAL P.-Y., GORZA M.-P., TEXIER A. & BARDING C. (1991). Une exploration des difficultés des étudiants en cinématique et mécanique du point matériel. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 738, p. 1399-1417.
- BENABDALLAH A. (1989). *Cours de physique, 3^e AS (en arabe), tome 1*. Alger, Office des publications universitaires.
- BAYLON C & MIGNOT X. (2000). *Initiation à la sémantique du langage*. Paris, Nathan.
- BAURRIER M.-C., DELPECH J.-C., DENEFLÉ S., DUCASSE M. & MARINELLI A. (1998). *Physique-chimie, 5^e*. Paris, Bordas.
- BENSEGHIR A. (1993). Signes + et - : perception du circuit électrique. *TREMA*, IUFM de l'académie de Montpellier, n° 3-4, p. 19-26.
- BERNON J.-L., GOULIN G., LAGACHE J.-C. & ODABACHIAN J.-P. (1999). *Physique-chimie, 3^e*. Paris, Hatier.
- BOULAND A., CAUWET J., FAY J. & PAUL J.-C. (1993). *Physique-Chimie, 2^e*. Paris, Bordas.
- BOULDOIRES B. (1991). Les notations symboliques relatives à l'énergie dans quelques manuels de sciences physiques. *Actes du 1^{er} séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques, 21 et 22 octobre 1991*. Grenoble, université-Joseph-Fourier-Grenoble 1 Editeur, p. 25-34.
- BRAHMI G. & TACHOUA A. (2000). *Physique, 1^{re} année secondaire, sciences et technologie*. Alger, Office national des publications scolaires.
- CALMETTES B. (1992). Acquis en électrocinétique à courant continu. *TREMA*, IUFM de l'académie de Montpellier, n° 3-4, p. 37-48.
- CHAFFEE E.-L., FOSTER A.-W., GALE G.-O., JONES A.-T., LENZEN V.-F., MITCHELL ROLLER D. & HUGUES H.-K. (1938). Letter symbols for physics. *American Journal of Physics*, vol. 6, p. 217.

- COHEN R., EYLON B. & GANIEL U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *American Journal of Physics*, vol. 51, p. 407-412.
- DEGURSE A.-M., GOZARD F., ROSENFELD-GIPCH L., SOULIE L. & ZEMB T. (1989). *Physique, classe de terminales C/E*. Paris, Hatier.
- GUIRAUD P. (1979). *La sémantique*. Paris, Presses Universitaires de France, 5^e édition.
- HOFFER A. (1976). On the use of symbols to represent quantities, properties, and adjectives encountered in physics. *American Journal of Physics*, vol. 44, n° 8, p. 759-761.
- JAMEUX D. (2002). Symbole. *Encyclopaedia Universalis*, France SA, p. 957-960.
- JOHNSA Samuel. (1982). *L'utilisation du schéma en électrocinétique. Proposition pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique*. Thèse, université Paul-Cézanne-Aix-Marseille 3.
- KHANTINE LANGLOIS F. & VIARD J. (1993). Raisonement dans la résolution de problèmes d'électrocinétique par des étudiants de licence. *TREMA*, IUFM de l'académie de Montpellier, n° 3-4, p. 3-17.
- LÉVY – LEBLOND J.-M. (1998). La nature prise à la lettre. *Alliage*, n° 37-38, p. 71-82.
- MALLINCKRODT A.-J. (1993). Separate Symbols for Separate Concepts. *American Journal of Physics*, vol. 61, p. 760.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE. (1983). *Education technologique, 7^e année fondamentale*. Alger, Institut pédagogique national.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE. (1990). *Physique, 1^{er} AS*. Alger, Office national des publications scolaires.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE. (2003). *Sciences physiques et Technologie, 1^{er} année d'enseignement moyen*. Alger, Office national des publications scolaires.
- PIAGET J. (1970). *La formation du symbole chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris, Delachaux et Nestlé, 5^e édition.
- RAINSON S., TRANSTRÖMER G. & VIENNOT L. (1994). Students understanding of superposition of electric fields. *American Journal of Physics*, vol. 62, p. 1026-1032.
- SAUSSURE F. de. (1972). *Cours de linguistique*. Paris, Payothèque, (Paris-Lausanne, 1916).
- SOUDANI M. & SOUDANI O. (2002). Les éléments chimiques : Découvertes et origines des noms et symboles. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 840, p. 113-125.
- TOMASINO A., PENIGAUD A. & FAYE M. (1994). *Physique, 1^{er} S*. Paris, NATHAN.
- TOMASINO A., FAURIS M., PARENT C., PATRIGEON F. & SIMON C. (1995). *Physique, Terminale S*. Paris, Nathan.
- VIENNOT L. (1982). L'implicite en physique : les étudiants et les constantes. *European Journal of Physics*, vol. 3, p. 174-180.
- VIENNOT L. (1983). Pratique de l'algèbre élémentaire chez les étudiants en physique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 622, p. 783-820.
- WALLON H. (1970). *De l'acte à la pensée*. Paris, Flammarion.

Cet article a été reçu le 26 janvier 2006 et accepté le 27 novembre 2006.