

## L'épistémologie et l'histoire des sciences et des techniques peuvent elles aider les futurs enseignants de sciences physiques dans l'exercice de leur métier ? Regards portés pour une ingénierie de formation

Muriel Guedj<sup>a</sup>

LIRDEF, Université de Montpellier, Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Éducation et Formation, France

**Résumé.** Cette étude interroge la place de l'Épistémologie, l'Histoire des Sciences et des Techniques comme élément pertinent pour améliorer la professionnalité des enseignants de sciences physiques. La réflexion se nourrit des nouvelles orientations prises au sein d'écoles d'ingénieurs et de facultés de médecine qui ont fait le choix d'introduire des unités d'enseignement dédiées aux Sciences Humaines et Sociales afin de perfectionner la qualité professionnelle de leurs formations. Une étude de cas dédiée à l'enseignement de l'énergie illustre le propos.

**Abstract.** This study examines the role and relevance of epistemology and the history of science and technology as tools to improve the professionalism of teachers in the physical sciences. Our analysis is based on the new directions taken in engineering and medical schools that have introduced teaching units dedicated to the humanities and social sciences in the aim of enhancing the professional quality of their courses. A case study concerning the teaching of the concept of energy is used to illustrate the subject in question.

Si l'intégration des Sciences Humaines et Sociales (SHS) par le biais de l'Épistémologie, l'Histoire des Sciences et des Techniques (EHST) ne constitue pas un fait nouveau dans le domaine de la formation des enseignants de sciences, la généralisation d'une pratique effective n'est toujours pas d'actualité et rares sont les enseignants qui abordent ces aspects dans le cadre d'un enseignement disciplinaire scientifique. Alors que la question des enjeux assignés à cette intégration a évolué au cours du temps [1], il n'en demeure pas moins que la situation actuelle ne permet pas la mise en œuvre d'une réelle dynamique dans le domaine.

Dans ce cadre, il est intéressant de constater que des institutions, dont les missions résident notamment dans l'amélioration des formations professionnelles scientifiques, mobilisent, voire généralisent des enseignement de SHS. C'est ainsi que certaines écoles d'ingénieurs et les facultés de médecine ont engagé des réflexions quant à la nature des enjeux professionnels attachés à l'exercice du métier ; réflexions qui se sont traduites par la mise en place de modules spécifiques aux SHS dans les

---

<sup>a</sup> e-mail : [muriel.guedj@univ-montp2.fr](mailto:muriel.guedj@univ-montp2.fr)

parcours professionnalisant scientifiques. La construction de ces modules, les objectifs visés, les liens entretenus avec les disciplines scientifiques sont autant d'éléments dont l'analyse doit pouvoir nourrir la réflexion dans le domaine de la formation des enseignants scientifiques. L'analyse qu'il convient de mener sur la professionnalité des enseignants de sciences expérimentales pour une meilleure intégration de l'EHST se trouve au cœur de cette réflexion. La première partie de cette communication est consacrée à l'établissement d'un état des lieux permettant d'appréhender la place actuellement accordée par les Instructions Officielles à l'EHST dans les programmes scolaires, les concours d'enseignement et la formation des enseignants de sciences physiques. Cet état des lieux s'attache à distinguer les insertions factuelles ou anecdotiques, des approches plus méthodologiques. En mettant l'accent sur des objectifs trop généraux, peu en prise avec les programmes, il permet de justifier une situation caractérisée par un foisonnement et une extrême dispersion des propositions d'enseignements qui restent peu lisibles au sein des communautés concernées.

C'est aux choix opérés par des écoles d'ingénieurs et dans les facultés de médecine que la seconde partie s'intéresse. Quels arguments sont-ils mobilisés pour légitimer ces choix ? Il s'agit en particulier de repérer les enjeux associés à l'insertion d'EHST avec pour horizon, la mise en évidence des objectifs et des enjeux concernés par les SHS au sein de ces institutions.

La troisième partie évoquera les débats qui animent actuellement la communauté des didacticiens des sciences au sujet de la professionnalité des enseignants de sciences expérimentales. Elle s'attachera à la mise en évidence d'éventuels éléments analogues, sorte de dénominateurs communs à l'ensemble des parcours scientifiques professionnalisant : il s'agit d'une façon d'identifier le caractère professionnel attaché à un enseignement scientifique alors que les disciplines enseignées diffèrent. Un programme de recherche en cours<sup>1</sup>, qui se consacre à la place de l'EHST dans le cadre d'un enseignement de l'énergie, permettra d'illustrer le propos.

## **1 Épistémologie, histoire des sciences et des techniques, programmes scolaires et formation des enseignants : un rapide état des lieux**

Si l'introduction d'éléments d'EHST dans les programmes de sciences physiques du secondaire ainsi que dans le cadre de la formation des enseignants n'apparaît pas comme étant une problématique nouvelle, il semble néanmoins que l'affichage de ces éléments ne soit pas toujours très lisible et que des questions demeurent :

Quels éléments d'EHST sont-ils introduits dans les programmes, quels domaines sont-ils concernés par cette introduction ? Outre la question des contenus se pose celle des méthodes ; quelle histoire est-elle proposée et quelle épistémologie associée ? Quelle place l'EHST occupe-t-elle dans le cadre de la formation des enseignants ? Finalement, de manière plus générale, quels sont les enjeux assignés à l'EHST dans les textes officiels ?

Au collège [2], c'est dans le cadre de l'introduction commune des programmes de sciences et technologie<sup>2</sup> pour lesquels l'accent est mis sur la nécessité d'une représentation globale et cohérente du monde, que les éléments d'EHST sont introduits : « La perspective historique donne une vision cohérente des sciences et des techniques et de leur développement conjoint. Elle permet de présenter les connaissances scientifiques comme une construction humaine progressive et non comme un ensemble de vérités révélées. Elle éclaire par des exemples le caractère réciproque des interactions entre sciences et

---

<sup>1</sup> Le programme intitulé « *Le concept d'énergie de son histoire à son enseignement* » vise à proposer un enseignement rénové de l'énergie. L'un des volets de la recherche s'intéresse à l'introduction de l'EHST dans le cadre de la formation des enseignants de sciences physiques. Cet aspect est détaillé dans la dernière partie de cet article. Le projet est soutenu par le Réseau des Maisons de Sciences de l'Homme.

<sup>2</sup> Cette introduction commune concerne les enseignements de mathématiques, de physique-chimie, de sciences de la vie et de la Terre et de technologie.

techniques. »<sup>3</sup> Cette dimension humaniste, présentée dans le préambule en complément de l'introduction générale des programmes, vise à engager les enseignants vers « [...] une ouverture en direction de l'histoire des sciences et de l'actualité scientifique »<sup>4</sup>. Il s'agit de montrer que la science est une construction qu'elle a une histoire et que les repères pouvant être apportés par cette approche contribuent à une meilleure compréhension de la science actuelle.

La même dynamique préside au préambule du cycle terminal du second cycle [3] avec l'idée selon laquelle la science procède d'une construction humaine, culturellement située. Outre la contribution à la construction des connaissances scientifiques, ces éléments soulignent des aspects plus méthodologiques associés notamment au questionnement ; ils invitent à se pencher sur les controverses et les erreurs qui jalonnent les constructions scientifiques et à l'esprit critique nécessaire à la résolution d'une grande diversité de problèmes. Cependant, force est de constater que très peu de déclinaisons dans les programmes concernent explicitement des éléments d'histoire des sciences. La conséquence immédiate réside dans l'impossibilité pour les enseignants de se saisir de ces aspects pourtant largement développés dans les préambules qui coiffent les programmes. Ce premier constat constitue un obstacle évident au développement de l'EHST, il se poursuit lorsque l'on porte son regard vers la formation des enseignants.

Le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation [4] retient dans la liste de compétences « Connaître de manière approfondie sa discipline ou ses domaines d'enseignement. En situer les repères fondamentaux, les enjeux épistémologiques et les problèmes didactiques » Comment la dimension relative à l'épistémologie est-elle effectivement prise en compte dans le cadre extrêmement contraint de la formation des enseignants qui, outre la formation professionnelle, doit permettre la réussite au concours d'enseignement ? Une amorce de réponse se situe dans les contenus mêmes de ces concours ; c'est ainsi que l'épreuve sur dossier pour les sciences physiques<sup>5</sup> qui consiste en une analyse de documents pédagogiques précise : « L'épreuve permet au candidat de montrer sa culture disciplinaire et professionnelle, sa connaissance des contenus d'enseignement et des programmes de physique-chimie, sa réflexion sur l'histoire et les finalités de cette discipline ainsi que ses relations avec les autres. »<sup>6</sup> Comment le candidat peut-il s'emparer de cette orientation alors que les programmes présentent des intentions générales sans proposition spécifique ? De la même manière comment les formateurs peuvent-ils donner corps à des intentions d'ensemble qui ne prennent appui sur aucun thème ou méthode précis ?

Ainsi, alors que les instructions affichent clairement des orientations en faveur de l'EHST, le fait de maintenir ces dernières dans des paragraphes généraux sans proposition de déclinaison dans les contenus des programmes, laisse totalement à la charge de l'enseignant l'appropriation de ces aspects. Ajouté à cela le cadre contraint des programmes, l'absence d'accompagnement et une place restreinte dédiée à des questions d'ordre historique dans les écrits des concours d'enseignement<sup>7</sup>, constituent autant d'éléments qui contribuent à laisser de côté l'EHST. Ainsi, sans propositions ni cadrage précis, chacun va se saisir de ces incitations en fonction de ses connaissances, ses représentations ou sa propre

---

<sup>3</sup> A noter que le socle commun de connaissances et de compétences complète cette introduction en illustrant ces liens disciplinaires à l'aide d'exemples mettant en jeu plusieurs disciplines scientifiques. Bulletin officiel Spécial n°6, 28 août 2008.

<sup>4</sup> Ibid.

<sup>5</sup> Le programme de la session 2013 est reconduit pour la session 2014 exceptionnelle (publié le 25 janvier 2013).

<sup>6</sup> Concours externe du CAPES et CAFEP - CAPES Section sciences physiques et chimiques- Session 2013.

<sup>7</sup> Questions demeurant factuelles (dates particulières, connaissances des prix Nobel, nom de physicien associée à une loi, une découverte et période correspondante.) Pour exemple, <http://www.education.gouv.fr/cid58441/sujets-des-capes-2012.html> (Site consulté le 23/02/2014) : « Galiléo Galilèi, dit Galilèe (1564–1642) était un physicien et un astronome italien. Donner très succinctement deux éléments du contenu de son travail scientifique. »

« L'étude quantitative des phénomènes de diffraction s'appuie sur le principe Huygens-Fresnel. Ce principe est-il le fruit d'un travail concerté entre Christian Huygens et Augustin Fresnel ? » Voir le sujet de la composition de chimie avec applications <http://www.education.gouv.fr/cid66145/sujets-rapports-des-capes-2013.html> (site consulté le 23/02/2014).

sensibilité. Il en résulte une grande diversité d'orientations, des propositions morcelées et finalement peu lisibles en tant qu'offre de formation. Reste également le sentiment qu'une réponse aussi modeste soit elle à une commande aussi floue, constitue davantage un bonus qu'un réel apport à un apprentissage fondamental.

Comment, dans un tel contexte pour lequel le domaine de la formation des enseignants apparaît comme étant foisonnant et peu structuré, se saisir du lien entretenu ou à promouvoir entre EHST et dimension professionnelle ?

Afin de mieux appréhender cette difficulté, il a semblé pertinent de sortir du cadre strict de la formation des enseignants scientifiques pour examiner des domaines qui présentent une certaine proximité en terme d'enjeux associés à l'insertion, si ce n'est de l'EHST, du moins des Sciences Humaines et Sociales (SHS). Ainsi deux exemples illustrant ces insertions devraient permettre de mieux comprendre les intentions attachées à un enseignement de SHS pour une formation professionnelle scientifique.

Le premier exemple concerne la Commission des Titres d'Ingénieur qui constitue l'organe de référence pour les écoles d'ingénieur alors que le second exemple illustre la place désormais accordée aux SHS dans les études de médecine. Comment les enseignements sont-ils intégrés, quels objectifs sont-ils définis, quels arguments sont-ils mobilisés pour justifier des choix opérés sont autant de questions qui devraient permettre d'éclairer la formation des enseignants. Il ne s'agit pas de transposer à ce dernier domaine, les dispositifs élaborés pour d'autres formations professionnelles et disciplinaires mais plutôt d'interroger la place de l'EHST compte tenues des spécificités professionnelles des enseignants de sciences.

Dans ce contexte, il est apparu essentiel que ces éléments ne pouvaient réellement servir de base à une réflexion, que si la notion de professionnalité des enseignants de sciences était elle-même précisée. De fait, si la professionnalité se décline selon un cahier des charges évoqué plus haut, les spécificités attachées à la profession d'enseignants de sciences sont moins faciles à saisir. À ce titre il a semblé fondamental de tenter, si ce n'est d'établir une typologie, du moins de mettre en avant les éléments saillants permettant de caractériser les disciplines scientifiques expérimentales. Cet aspect nous a conduit à examiner les recherches actuellement conduites dans le domaine ; quelles orientations sont elles prises, quels sont les enjeux associés à ces approches ?

## 2 Regarder « à côté »

### 2.1 La commission des titres d'ingénieurs et les SHS

La Commission des Titres d'Ingénieur (CTI) est un organisme qui a notamment pour mission l'évaluation des formations d'ingénieur, le développement de la qualité des formations ainsi que l'accréditation des écoles qui décernent un titre d'ingénieur. La CTI « s'assure de la qualité des formations d'ingénieur et de leur adaptation permanente au contexte européen et international, académique et professionnel, et en apporte la garantie » [5]. Alors qu'un document mis à la disposition des écoles présente avec détail l'articulation qu'il convient de donner aux formations, il semble intéressant d'analyser ce texte d'un point de vue des discours qui structurent la formation, la rend cohérente et d'examiner plus en détail les spécificités qui la caractérisent.

La partie « Références et Orientations » du document de la CTI servira de base à l'analyse<sup>8</sup>. Ainsi, le document présente un état des lieux et une évaluation des formations dispensées, les liens qu'il convient d'établir avec les stages, ainsi qu'un volet *Analyse et perspective* permettant d'appréhender le contexte d'ensemble. Concernant ce dernier élément, la CTI souligne que c'est une tendance à l'accélération

---

<sup>8</sup> Voir l'onglet Habilitation des formations d'ingénieurs/procédures et documents sur le site de la CTI <http://www.cti-commission.fr/Missions-de-la-CTI>.

qui en constitue la caractéristique essentielle, indiquant que les changements sont plus importants ces dernières années que lors des précédentes décennies.

Quatre éléments témoignent plus particulièrement de ces mouvements :

Le premier concerne les voies d'obtention du diplôme qui présentent désormais une plus grande disparité. De fait, si la voie étudiante reste stable, la voie de l'apprentissage, par le biais de l'ouverture de formations dans le domaine, progresse le plus alors que la formation continue diminue. Ce dernier aspect s'expliquant par le peu de succès obtenu par la validation des acquis de l'expérience. Le second point concerne une plus grande diversité dans la typologie des diplômés. Si plus de femmes sont effectivement diplômées et représentent désormais environ 25 % des diplômés, cette représentativité révèle une grande diversité selon les écoles. Ainsi, elles sont 50 % dans les écoles d'agronomie, de chimie ou de biologie, mais ce nombre devient inférieur à 10 % lorsque ce sont les écoles de mécanique, informatique qui sont concernées. Un autre facteur significatif des changements réside dans le taux d'étudiants étrangers passés de 7,6 à 13,4 % en 5 ans, faisant de cette augmentation la plus importante dans l'enseignement supérieur. Enfin, l'ouverture à l'international (double diplôme, densification des réseaux d'échanges, création de diplôme en partenariat, implantation d'écoles à l'étranger) caractérise désormais les écoles davantage en réseau et influe sur le métier.<sup>9</sup>

Compte tenu de ce contexte mouvant, il fallait adapter la formation et l'ajuster à de nouvelles dynamiques. C'est ainsi que l'analyse des besoins des entreprises et le réajustement des programmes qui doit en résulter, se structure en fonction de compétences attendues. Cette démarche, qualifiée de démarche « compétences » présente l'avantage d'inventorier les objectifs visés ; il s'agit cependant d'une démarche novatrice dont l'évaluation est à peine engagée. Afin de mieux cerner la situation des ingénieurs diplômés dans les écoles françaises<sup>10</sup> la démarche prend appui sur enquête socioprofessionnelle menée auprès de 47000 ingénieurs. L'enquête propose d'évaluer un ensemble de neuf compétences permettant d'identifier et hiérarchiser les éléments jugés importants pour l'exercice du métier. Pour exemples, les « Connaissance et compréhension d'un large champ de sciences fondamentales » et « Aptitude à mobiliser les connaissances de la spécialité » font partie de cet ensemble et l'enquête montre qu'elles sont identifiées comme des compétences jugées essentielles pour le métier d'ingénieur. Les ingénieurs sont invités à répondre par *important*, *neutre* ou *peu important* pour qualifier chacune de ces compétences. Une question concernant la place estimée de ces compétences dans la formation constitue une indication supplémentaire. Les résultats de l'enquête fournissent ainsi un panorama instantané du contexte professionnel tel qu'il est perçu par ses propres acteurs.

Les réponses mettent en évidence un univers professionnel assez homogène quant aux priorités que sont « les savoirs scientifiques et techniques et outils de l'ingénieur » accentué pour les plus jeunes, par « la capacité à s'intégrer dans une organisation, à l'animer la faire évoluer » et à « prendre en compte des enjeux industriels économiques et professionnels ». Tous en revanche s'accordent pour réserver une place limitée aux valeurs sociétales (exemple du développement durable) et à l'éthique.

Compte tenu de cette enquête et du contexte professionnel mobile évoqué précédemment, les objectifs affichés pour les SHS sont à définir précisément. Le choix est fait d'une insertion intitulée « Dimension humaine, économique et sociale » dont l'objectif est moins la culture générale de l'ingénieur que la participation à la professionnalité de celui-ci. Sur quels éléments repose cette assertion et comment la formation se structure-t-elle pour répondre à cette orientation ?

Les évolutions rapides des sociétés, la diversification et l'internationalisation des activités conduisent à réinterroger le rôle et la place de l'ingénieur. Conscient des enjeux et des responsabilités inhérentes à sa fonction, c'est un rôle d'interface entre les techniques et les usages sociaux que l'ingénieur doit désormais tenir. En outre les SHS doivent permettre une meilleure connaissance de l'entreprise et

---

<sup>9</sup> Pour ces aspects voir la partie A&P Bilan des habilitations des écoles d'ingénieurs, A&P.C.2 Les grandes tendances, *Evolution du diplôme des ingénieurs, La typologie des diplômés*, pp. 16–18.

<sup>10</sup> Ibid.

faciliter l'interaction dans les rapports professionnels. Ce contexte complexe, conduit à considérer les SHS comme un vecteur facilitant l'« *adaptation* » aux réalités socio-professionnelles tout en permettant une « *émancipation* » des individus avec des éléments de culture qui dépassent le contexte strict de la profession. Un équilibre doit être trouvé entre « *adaptation* » et « *émancipation* ». Ainsi, un trop grand déplacement vers l'*adaptation* pourrait conduire à une instrumentalisation des savoirs en réduisant ces derniers à des techniques de management, alors qu'à l'inverse, la seule *émancipation* pourrait produire une généralisation des savoirs trop éloignés des préoccupations des ingénieurs.

De fait, développer une ouverture personnelle et élaborer un projet professionnel, acquérir des savoirs et savoir-faire nécessaires à l'exercice du métier (notamment lors de la prise en compte de problèmes complexes), comprendre la société et savoir situer sa place et son rôle d'ingénieur, constituent trois objectifs nécessaires à cet équilibre entre adaptation et émancipation.

Par ailleurs, si ces orientations sont effectivement prises en compte, cette condition n'est pas suffisante et il convient de préciser que les disciplines SHS ne sont pas émancipatrices ou adaptatrices en tant que telles ; c'est la manière dont elles sont enseignées qui doit permettre aux ingénieurs de « penser et d'agir » (exemple de l'économie qui peut être présentée comme un ensemble d'outils techniques ou bien abordée comme une compréhension globale des échanges).

Enfin, et cet aspect résonnera dans le cadre des autres types de formation, il s'avère nécessaire dans ce nouveau contexte lié aux compétences structurant la formation de développer des travaux de recherche. Ces travaux menés au sein des écoles d'ingénieurs, doivent permettre de mieux identifier les savoirs, activités, environnements socioprofessionnels et enjeux sociétaux qui caractérisent aujourd'hui la profession d'ingénieur. Cette question est à peine ébauchée par la CTI.

## 2.2 Facultés de médecine et SHS

La question de l'implication des SHS dans les parcours professionnels scientifiques concerne d'autres domaines que les seules écoles d'ingénieur. C'est le cas des études de médecine qui entretiennent un rapport particulier avec les SHS dont il paraît tout aussi intéressant de pointer les spécificités que les points de convergence avec les préconisations repérées dans le cadre de la CTI.

Le *Manuel* [6] qui constitue un ouvrage pluridisciplinaire destiné à accompagner l'enseignement de sciences humaines et sociales au sein de la formation médicale et des formations en santé servira de base à la comparaison et à l'analyse. Il convient ici de préciser que cet ouvrage, contrairement au texte de la CTI examiné dans la partie précédente, ne présente aucun caractère officiel.

L'ouvrage s'adresse aux étudiants et à tous ceux qui s'engagent dans les métiers du soin ou qui s'intéressent aux questions épistémologiques, éthiques et sociales impliquées par la médecine contemporaine. « Les SHS peuvent-elles aider les futurs médecins dans l'exercice de leur métier ? » est la question centrale dont se saisit le *Manuel*.

Le premier élément commun aux formations, concerne le changement de contexte; comme cela a été précédemment évoqué pour les écoles d'ingénieurs, les mouvements qui touchent au contexte d'ensemble sont des éléments déterminant pour comprendre que l'exercice de la médecine a changé. C'est ainsi que Jean-Marc Mouillie et Tzvetan Todorov (respectivement auteurs de l'introduction et de la préface) pointent une tension de plus en plus forte entre d'une part, des avancées scientifiques et technologiques d'envergure (indispensables pour améliorer le diagnostic, la thérapie, la compréhension d'un mécanisme biologique...) et d'autre part, une médecine qui se doit de prendre en compte la spécificité du patient et qui, de manière générale, doit être attentive à ses propres finalités. Entre un pôle scientifique et humain, le « médecin pourrait bien avoir 2 têtes ». C'est ainsi que Michel Serres cité dans l'introduction de Mouillie traduit cette sorte de double identité indispensable à l'exercice d'une médecine pleine et entière. C'est cette identité autour de laquelle se structure aujourd'hui la professionnalité du médecin. De fait, si une situation professionnelle courante pour un médecin implique des connaissances disciplinaires rigoureuses, la prise en charge du patient compte tenu des spécificité

de ce dernier, et les réponses à porter à des demandes sociétales diverses (avis en tant qu'experts des tribunaux, médecine du travail) font également parties des prérogatives attachées à la mission professionnelle.

Ainsi, le travail du médecin ne peut se réduire à un travail strictement scientifique, à une prestation technique, réduisant par là même le patient à un objet manipulé. Ce n'est pas un « ingénieur du corps »<sup>11</sup> (il serait sans doute plus précis d'indiquer qu'il n'est pas un « mécanicien du corps » compte tenu de la diversité des approches développées au sein des écoles d'ingénieur !) Pour que les deux têtes puissent coexister de manière équilibrée, la pratique de la médecine ne peut se passer d'une réflexion non scientifique (ou non exclusivement scientifique), qui interroge ses orientations, ses finalités, ses responsabilités. L'accent est mis sur le fait que les éléments de SHS ne sont pas là comme éléments de culture scientifique mais qu'ils doivent permettre d'interroger le cœur de la médecine en favorisant des rencontres pluridisciplinaires (dimension éthique, référence à la littérature, histoire de la médecine...)

Pour l'enseignement, plutôt qu'une transmission de savoirs, il s'agit davantage de donner des repères (historiques, juridiques et conceptuels), de faire une introduction aux problèmes, de sensibiliser au questionnement. Ces objectifs très proches de ceux évoqués pour les écoles d'ingénieurs résultent d'une même problématique pour laquelle les SHS sont mobilisées afin de répondre à un changement de contexte caractérisé dans les deux cas par une tension entre un pôle de connaissances scientifiques indispensables à l'exercice des métiers et la prise en compte de spécificités qui leur sont attachées.

Dans ce cadre, il apparaît clairement que la place allouée aux SHS ne peut se réduire à l'apport de connaissances factuelles mais que c'est davantage la manière de saisir les problématiques diverses, afin de construire du sens autour de ces problématiques et d'appréhender les caractéristiques propres aux métiers qui sont mis en avant.

La diversité des thèmes abordés dans le Manuel ne permet pas de rendre compte ici de l'ensemble des orientations prises pour approcher au plus près les objectifs pointés ci-dessus. Toutefois, afin d'illustrer nos propos, nous avons fait le choix de présenter succinctement deux études de cas développées dans le Manuel. La première intitulée *Nature de la médecine* met l'accent sur le statut de la médecine ; cette dernière est-elle science ou bien art ? La question qui peut sembler décalée, peu pertinente dans le contexte codifié et structuré d'une médecine légitimée par la recherche scientifique, renvoie pourtant directement à la pratique médicale. De fait, si considérer la médecine comme une science apparaît être une condition nécessaire, cette condition est jugée insuffisante. Ainsi, la science médicale permet d'expliquer et de prévoir les phénomènes observés, elle constitue le fondement des savoirs et des savoirs faire techniques relatifs aux soins que le médecin doit dispenser. Elle garantit la légitimité des pratiques thérapeutiques en reconnaissant le statut académique et social du médecin qui, de part son parcours au sein de la faculté, se démarque de praticiens tournés vers des pratiques alternatives. Pourtant, la science médicale se distingue des savoirs scientifiques avec la prise en compte de spécificités relatives à l'objet d'étude. Maël Lemoine qui signe cette étude souligne l'originalité des savoirs qui introduisent la notion de valeur dans les énoncés. Il rappelle qu'un énoncé médical est à la fois descriptif conformément à tout énoncé scientifique, et également prescriptif puisqu'il est porteur de recommandations indiquant « ce qui vaut ou ne vaut pas d'être tenté »<sup>12</sup> Le caractère prescriptif n'apparaît cependant pas comme étant une contradiction avec la nature scientifique des énoncés, il engage à une réflexion plus fine et plus élaborée des méthodes à l'œuvre dans le cadre d'une pratique qui se doit d'interroger les connaissances médicales et leur validité alors que l'objet d'étude associe fait et valeur, objectivité et subjectivité. La prise en compte de ces éléments engage l'auteur à revendiquer l'existence d'une science médicale : « [...] le développement, la sophistication méthodologique et surtout les résultats de la recherche, rendent impossible ou du moins très biaisée, l'affirmation qu'il n'existe pas de science médicale ».

---

<sup>11</sup> L'expression citée par Todorov est de Rony Brauman (Médecin humanitaire, ancien président de Médecins sans frontières).

<sup>12</sup> La Manuel Ref. [p. 53].

La deuxième étude de cas concerne l'éthique, et en particulier la nécessité dans des contextes sociétaux désormais plus ouverts, plus informés mais également plus complexes, de distinguer l'éthique de la morale. Ainsi, là où la morale apparaît comme étant prescriptive, fondée sur des obligations et des impératifs, l'éthique engage à une mise à distance plus réflexive. La diversité des problèmes générés dans des sociétés multiculturelles ne trouve pas de réponses indiscutables et préalablement établies alors qu'une approche de la morale fondée sur des dogmes, des codes, et en prise avec une culture traditionnelle bien identifiée suppose des réponses précises à des situations anticipées. Bien que la morale ne puisse se réduire à des valeurs indiscutables et finalement ne pas se distinguer aisément de l'éthique, Jean Marc Mouillie auteur de l'article, invite à interroger cette différence. Se référer à des valeurs établies ou bien adapter son attitude face à certaines d'entre elles qui déroutent, questionnent voire font défaut constituent deux attitudes intéressantes à analyser dans le cadre d'une pratique médicale même si la distinction entre ces attitudes n'est pas nette. Rappelant que ce qu'une morale affirme peut être rejetée par une autre, l'auteur engage à dépasser les conflits pour « construire des accords raisonnables entre individus n'ayant pas les mêmes références morales ». La problématique de l'excision constitue une illustration au propos. Pourtant porteur d'une valeur symbolique forte l'excision est un acte que le médecin ne pratiquera pas, alors qu'il tentera de modifier la demande du patient ce qui nécessite d'engager une discussion constructive pour laquelle le médecin devra avoir une compréhension suffisamment précise de la situation lui permettant de se décentrer de son point de vue personnel, et d'être à même de présenter plusieurs points de vue permettant de conduire la discussion de manière efficace.

### 3 Professionnalité des enseignants en sciences expérimentales

#### 3.1 De nouveaux contextes pour l'enseignement

Les deux études précédentes concernant les écoles d'ingénieurs et les facultés de médecine avaient pointé l'importance et les rapides mutations des contextes d'exercice conduisant à de nécessaires adaptations pour les formations professionnelles. Sans véritable surprise, c'est un constat identique qui est établi dans le domaine de l'enseignement. Ainsi, le *Plaidoyer pour un enseignement moderne* [7] présenté par Andreas Schleicher, responsable des questions éducatives auprès de l'OCDE, témoigne d'une situation critique pour laquelle l'école d'aujourd'hui doit opérer des mutations afin d'être en phase avec une société qui a subi des changements profonds. Cette fois encore, c'est bien la rapidité de l'évolution des contextes dans lesquels les professionnels doivent intervenir qui retient l'attention. Ainsi, pour Schleicher la mission première de l'école est moins de préparer l'élève à un métier socialement prédéterminé, qu'à le préparer à des emplois et à des technologies qui n'existent pas encore. Dans un tel cadre, l'enseignement dit traditionnel est nécessairement bousculé. Il s'agit plus d'être en mesure d'accéder et de discriminer les informations pertinentes, de les analyser de manière critique que d'apprendre « par cœur » des notions désormais accessibles à tous. « Aujourd'hui, l'enseignement s'apparente bien plus à un mode de pensée fondé sur la créativité, le raisonnement critique, la résolution de problèmes et la prise de décision. Il tient également à des méthodes de travail, notamment la communication et la collaboration, et à des outils de travail, y compris la capacité de reconnaître et d'exploiter le potentiel des nouvelles technologies, mais aussi d'éviter leurs écueils. »<sup>13</sup>

Finalement, ce sont les thèmes développés précédemment pour la formation des ingénieurs et des médecins qui sont également soulignés ici ; l'accent étant mis sur le rapport au savoir pour lequel les connaissances disciplinaires prennent leur sens en tant que telles, mais également parce qu'elles sont au service de l'analyse critique et de l'innovation.

---

<sup>13</sup> <http://www.oecd.org/fr/general/plaidoyerpourunenseignementmoderne.htm>. Site consulté le 16/09/2013.



### 3.2 Professionnalité des enseignants de sciences expérimentales

Qu'est ce qui caractérise la dimension professionnelle d'un enseignant en sciences expérimentales<sup>14</sup>, autrement dit quelles sont les spécificités attachées à ces disciplines qui témoignent de cette dimension ? Répondre à la question des enjeux associés à la place de l'EHST dans les parcours professionnalisant scientifiques nécessite de déterminer ces spécificités. C'est à cet examen qu'ont procédé les chercheurs du domaine, didacticiens des sciences expérimentales, avec pour ambition de mieux identifier les pratiques des enseignants de sciences, d'interroger la construction de ces pratiques et finalement de proposer des aménagements en vue d'améliorer la professionnalité. Les travaux constitués d'étude de cas sont consignés dans un numéro dédié de la revue ASTER [8].

Dans le numéro de synthèse qu'elles consacrent à ces questions, Claudine Larcher et Patricia Schneeberger pointent un changement d'orientation dans les recherches. Ainsi, après le développement de travaux principalement centrés sur les pratiques, et les conditions qui favorisent les ruptures avec des pratiques jugées inadaptées (d'un enseignement frontal à un enseignement constructiviste par exemple), les orientations actuelles portent davantage sur la diversité des modalités d'intervention offertes aux enseignants alors que des outils provenant de différentes disciplines sont mobilisés à ces fins (par exemple l'ergonomie, la notion de geste professionnel, la linguistique).

Ainsi, l'analyse des gestes professionnels et des pratiques langagières permettent de mieux identifier les types d'interaction dans la classe et renseignent sur la construction des savoirs et des modèles : comment le problème est-il construit ? Quel statut est-il donné à l'argumentation, à l'expérience, à la confrontation des hypothèses à celle des résultats... ?

Ces études qui visent à identifier les gestes professionnels permettant d'orienter les enseignants vers une construction des apprentissages scientifiques sont basées sur la comparaison de pratiques. Ainsi, dans le cadre d'un travail en classe de cinquième<sup>15</sup> concernant une thématique nouvelle qui met en jeu des notions préalablement abordées de manière autonome<sup>16</sup>, les enseignants sont invités à conduire un débat permettant l'introduction puis la construction d'un modèle. Une auto-confrontation leur permet ensuite de justifier les choix opérés durant la conduite de ce débat de classe. Ainsi, sans qu'une typologie des gestes professionnels ne soit ici établie, quelques grandes orientations, significatives des postures des enseignants, se détachent assez nettement.

La première orientation met clairement en évidence l'intention de l'enseignant de développer des compétences transversales telles que, présenter et justifier son point de vue, connaître et mobiliser des enjeux sociétaux. Si ces compétences participent à l'éducation du futur citoyen, le risque associé à un débat peu orienté réside dans l'absence de véritable structuration des savoirs condition *sine qua non* à l'élaboration d'un modèle cohérent.

La seconde posture se caractérise par l'orientation que donne l'enseignant aux réponses des élèves de manière à mettre en cohérence ces propositions avec le modèle attendu, au risque d'interférer sur la construction du modèle et que ce dernier échappe aux élèves.

La troisième orientation met l'accent sur le développement de l'argumentation et la nécessaire reformulation des avis exprimés. À partir d'une critique de choix différents des leurs, les élèves sont tenus de formuler des propositions argumentées afin de justifier leur point de vue. L'enseignant doit ainsi développer des compétences permettant d'animer le débat sans se l'approprier, de permettre la construction d'un modèle cohérent qui tienne compte des diverses propositions, de permettre à chacun de progresser dans la réflexion critique quitte à délaisser certaines hypothèses.

---

<sup>14</sup> Si cette étude concerne davantage les enseignants de sciences physiques, il n'en demeure pas moins que beaucoup des aspects liés à la professionnalité sont partagés par les enseignants de sciences expérimentales. C'est le cas en particulier de cette partie.

<sup>15</sup> La classe de cinquième correspond en France à un enseignement dispensé pour des élèves de 12 à 13 ans.

<sup>16</sup> Schneeberger, P., Robisson, P., Liger-Martin, J., Darley, B., Conduire un débat pour faire construire des connaissances de sciences, Ref. [8], pp. 39-65.

Ces compétences se traduisent pour l'enseignant par autant de gestes professionnels qui lui permettent d'ajuster sa position, d'évaluer le processus de construction des savoirs, d'identifier les obstacles à la construction d'un modèle. Par ailleurs, elles sont révélatrices d'une posture propre à l'enseignant : « [...] le rôle du professeur dans la définition et sa position quant au degré d'autonomie dévolue aux élèves, amènent à considérer ses gestes professionnels selon le paradigme dans lequel il se place. Ceci conduit à percevoir dans les gestes de l'enseignant, outre une dimension pédagogique et didactique, le reflet de sa position épistémologique »<sup>17</sup>.

Les résultats obtenus mettent l'accent sur deux points importants. D'une part, ils étayent l'approche intuitive selon laquelle les gestes professionnels sont déterminés par la posture épistémologique de l'enseignant et d'autre part ces travaux soulignent le lien direct entre les gestes professionnels et la construction des apprentissages.

Ces résultats résonnent particulièrement avec les analyses précédentes concernant les études de médecine et d'ingénieur. Dans les deux cas, l'introduction des SHS constitue une réponse aux questions d'adaptabilité à un milieu professionnel mouvant avec pour les ingénieurs la confrontation à une plus grande diversité d'acteurs et des problématiques complexes alors que c'est une tension plus forte entre avancées scientifiques (et technologiques) et spécificités du patient qui caractérise le difficile équilibre auquel se confronte sans cesse le médecin. Rapportée au métier d'enseignant, la question du contexte s'avère essentielle, elle intervient notamment dans les relations aux savoirs, relations plurielles et changeantes comme en témoigne Andreas Schleicher dans le discours évoqué plus haut et qui incite vivement à développer l'esprit critique, seule solution selon lui dans un contexte pour lequel chacun accède instantanément à toutes sortes d'informations sans qu'aucune hiérarchie entre les données ne soit établie. Désormais, il s'agit plus d'organiser de manière critique les données pour innover que de maîtriser des savoirs factuels qui restent toutefois des éléments indispensables à l'apprentissage d'une discipline scolaire. Se retrouve ici la tension évoquée plus haut entre discipline scientifique et spécificités des contextes.

Si l'expression « penser pour agir » évoquée dans les écoles d'ingénieurs traduit l'intérêt pour les SHS dans le cadre d'une meilleure connaissance des contextes, élément déterminant pour être en mesure de réagir dans toute sorte de situations, l'accent est également mis, dans les écoles de médecine, sur la nécessité de développer une meilleure connaissance de la discipline scientifique. Cette fois encore, il s'agit moins d'accumuler les données factuelles que d'aborder l'épistémologie de la discipline : « interroger ses présupposés, ses modes de pensées, ses représentations, montrer que ses objets sont des constructions culturelles et normatives »<sup>18</sup>, sont autant d'éléments qui éclaire la discipline sous un jour nouveau, permettent de l'interroger, de la situer par rapport à d'autres disciplines, de l'insérer dans un contexte culturel. Cette approche épistémologique de la discipline est considérée comme un élément déterminant qui doit conduire le professionnel à agir de manière plus adaptée. Transposée au métier d'enseignant, cette approche fait écho ; elle se traduit, conformément aux préconisations adoptées dans les écoles d'ingénieurs et les facultés de médecine, par la proposition d'introduire des éléments d'épistémologie dans la formation des enseignants afin d'influer les pratiques enseignantes autrement qu'en apportant des éléments de culture « en plus ». Entre « adaptation » et « émancipation » pour reprendre les expressions employées pour positionner les enseignements de SHS introduits dans les écoles d'ingénieurs, entre problématique professionnelle et culture générale avec pour écueil l'instrumentalisation des savoirs ou au contraire la mise à distance entre enseignement et préoccupation professionnelle, les SHS doivent se situer en évitant ces positions extrêmes.

---

<sup>17</sup> Ibid., p. 43.

<sup>18</sup> Ref. [6], Introduction.

### 3.3 Etude de cas : enseigner l'énergie

C'est dans cette dynamique que s'inscrit le programme de recherche suivant qui vise à introduire des éléments d'EHST dans le cadre de la formation des enseignants de sciences physiques. Le programme intitulé « Le concept d'énergie de son histoire à son enseignement » s'articule autour de deux grands domaines participant de manière complémentaire à la structuration d'un troisième domaine dédié à l'enseignement de l'énergie. Dans son ensemble le programme vise à élucider le concept d'énergie et à proposer des éléments pour un enseignement rénové. A cet égard la recherche privilégie une entrée par la formation des enseignants de sciences physiques, condition *sine qua non* à un enseignement effectivement revisité.

Le premier domaine qui consiste en une étude historique et épistémologique du concept et analyse de la manière dont le concept traverse les moments de rupture qui caractérisent la physique du début du XX<sup>ème</sup> siècle. Il s'agit en particulier d'examiner comment les fonctions et propriétés de l'énergie (caractère unificateur, invariance etc.) se comportent avec l'avènement de domaines nouveaux (relativité et mécanique quantique). Le deuxième domaine d'étude concerne la diffusion du concept d'énergie dans d'autres champs disciplinaires que son domaine d'émergence, disciplines scientifiques ou non (chimie, biologie, géologie, psychologie, économie et arts). La question est de savoir comment et pourquoi le concept d'énergie a été importé : quête de légitimité scientifique, besoin théorique, facilité d'usage du principe ? Plus encore il s'agit de connaître les usages et les pratiques développées dans un cadre disciplinaire nouveau. Le concept est-il redéfini, ou bien au contraire les fonctions et propriétés qui le définissent sont-elles conservées ?

Ces deux approches doivent venir enrichir la partie dédiée à l'enseignement de l'énergie en participant à l'élucidation du concept et en apportant un éclairage particulier sur les usages et les pratiques à l'œuvre.

Concernant l'enseignement du concept, force est de constater que celui-ci est jugé de la part des enseignants et des chercheurs du domaine comme étant morcelé, formel et dogmatique. Lemeignan et Weil-Barais [9] traduisent parfaitement cet état de fait : « Il semble [l'enseignement de l'énergie] se réduire à l'exposé de relations mathématiques définitoires de grandeurs physiques, sans que soit justifiée la nécessité de procéder à des élaborations conceptuelles (...) Les connaissances sont énoncées de manière dogmatiques et décontextualisées. L'expérience n'est le plus souvent qu'un prétexte pour illustrer démontrer ou appliquer une relation »<sup>19</sup>. Ainsi, le concept apparaît comme abstrait et difficile à définir alors que paradoxalement, il est régulièrement mobilisé dans le langage naturel, ne cesse de traverser les débats de sociétés et qu'il constitue un concept omniprésent dans les programmes scolaires<sup>20</sup> tant d'un point de vue de l'éducation scientifique que de l'éducation citoyenne. L'étude des conceptions attachées au concept (Watts, Trumper, Robardet & Guillaud) [10–12] témoigne d'erreurs fréquentes et tenaces y compris après un apprentissage traditionnel (Trumper 1990) alors que les principales stratégies d'enseignement proposées se heurtent à des obstacles tels la mise en place de dispositifs précis mais complexes<sup>21</sup>, des choix didactiques sujet à controverse<sup>22</sup> [13, 14] et les propres conceptions des enseignants qui témoignent d'un malaise résultant d'un concept insuffisamment maîtrisé.

---

<sup>19</sup> Ibid. préciser la page.

<sup>20</sup> Thème de convergence du collège, le concept est véritablement introduit dans les programmes de troisième, il structure les programmes de première et demeure très présent dans les programmes Terminale y compris sur les questions sociétales.

<sup>21</sup> Voir par exemple Lemeignan & Weil-Barais (1993), Robardet & Guillaud (1995) ainsi que les documents d'accompagnement pour la classe de première (Programmes 2001) qui introduisent une méthode consistant à définir des relations sémantiques entre objet avant d'aborder toute conceptualisation.

<sup>22</sup> Voir par exemple les travaux de Duit (1987) et Millar (2005) qui proposent d'introduire dans un premier temps comme étant une substance quasi matérielle. Duit, R. (1987). Should energy be introduced as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, 139-145. Millar (2005) Teaching about energy. Department of educational studies, research paper 2005/11, published online.

Ces divers éléments concernant les conceptions des enseignants relatives à l'énergie et à son apprentissage, incitent à mener une réflexion plus approfondie sur ce qui fait obstacle à la mise en œuvre d'un enseignement convaincant et conduit à porter notre attention sur la formation des enseignants. Une première étape à ce travail réside nécessairement dans la clarification du concept, de son principe de conservation et des concepts connexes (notamment travail, force, chaleur). Cela engage à la mise en place d'un travail réflexif d'ordre épistémologique sur le concept d'énergie afin de favoriser l'appropriation du concept. Plus précisément, il s'agit de rendre compte des propriétés et du statut du principe en renvoyant au contexte d'émergence, aux problèmes théoriques (questions relatives à la dissipation d'énergie ou bien à la nature de la chaleur), aux situations expérimentales (la question de l'augmentation de la rentabilité des machines), au formalisme mathématique (l'expression analytique de la chaleur comme nécessité pour exprimer le bilan lors d'un cycle d'opérations de Carnot) et également au contexte philosophique, la période étant l'objet de nombreux débats à propos des concepts fondateurs de la physique [15].

Ces diverses étapes qui prennent appui sur l'EHST s'avèrent indispensables pour les enseignants et la formation doit se structurer en articulant l'ensemble des caractéristiques du concept (propriétés, fonction) en évitant le piège d'une histoire et d'une épistémologie du concept trop complexes et trop détaillées. Comme précédemment pour les écoles d'ingénieurs et les facultés de médecine, le choix a été fait d'introduire l'EHST pour construire du sens grâce à des apports accessibles et en prise avec la pratique professionnelle. Ainsi et sans qu'il ne soit possible ici d'en détailler les contenus, la formation se structure selon trois points, trois questions abordées successivement.

### *D'où vient le concept d'énergie ?*

L'étude de cette question vise à remettre en cause la vision selon laquelle le concept d'énergie, avec la signification que nous lui attribuons aujourd'hui, aurait toujours été disponible pour les scientifiques. Le but de la formation est ici non seulement de faire prendre conscience aux enseignants que ce concept, dans son acception scientifique actuelle, ne s'est stabilisé en physique qu'au milieu du XIXe siècle, mais aussi de leur fournir des éléments pour comprendre pourquoi il s'est stabilisé à ce moment et comment s'est opéré ce processus de stabilisation. Cette approche permet en particulier de travailler l'idée de simultanéité attachée à une émergence ainsi que la nécessité d'explicitier les contextes scientifiques et culturels.

### *Qu'est ce que l'énergie ?*

Pour que les enseignants puissent pleinement saisir la signification du concept d'énergie, il convient dans la formation de leur préciser l'ensemble des caractéristiques de ce concept, plutôt que de l'introduire en le réduisant au principe de la conservation de l'énergie. Lors du traitement de cette question, il nous semble également opportun de discuter les conceptions erronées des élèves qui peuvent constituer des obstacles à l'apprentissage du concept.

### *À quoi sert le concept d'énergie ?*

Afin que les enseignants comprennent et puissent justifier auprès de leurs élèves l'omniprésence du concept d'énergie dans les programmes, la formation devra clarifier les différentes fonctions que ce concept permet de remplir dans l'activité scientifique. Cette orientation permet notamment d'explicitier les contextes scientifiques technologiques et de travailler le statut de l'expérience ainsi que celui attaché à la mesure.

Finalement une telle formation vise en premier lieu la contextualisation ; il convient de donner du sens à un concept abstrait et polymorphe. Il s'agit également de discuter la notion de preuve, le rôle de

l'expérience dans la construction théorique, la nature des concepts en jeux et leur statut. Compte tenu de ces éléments, il est nécessaire de repenser les pratiques, par exemple la capacité à clarifier les problèmes, à interroger la construction des contenus et leur insertion dans les programmes scolaires.

On retrouve ici les principaux objectifs visés par les écoles d'ingénieurs et les facultés de médecine: « penser pour agir » avec un « agir » le plus adéquat possible, celui déterminant le geste professionnel le mieux adapté à une situation donnée. Ingénieurs, médecins et enseignants présentent ici des problématiques similaires.

L'épistémologie l'histoire des sciences et des techniques peuvent-elles aider les futurs enseignants de sciences dans l'exercice de leur métier ? L'étude précédente a montré qu'elles le devraient en questionnant les objets et les méthodes à l'œuvre, dans l'exercice courant de la profession et non en apportant des savoirs factuels disjoints des pratiques. C'est bien dans cette dynamique que sont engagées certaines écoles d'ingénieurs et que les sciences humaines et sociales sont introduites dans les études de médecine. Il reste à penser les modalités pour la mise en place et l'évaluation de ces insertions qui visent à toucher la professionnalité.

## Références

- [1] Danielle FAUQUE *La « longue marche » de l'enseignement de l'histoire des sciences et des techniques*, TREMA, n°26, octobre 2006, pp. 35–49.
- [2] Arrêté du 9 juillet 2008.
- [3] Bulletin officiel spécial n°9, du 30 septembre 2010.
- [4] Le référentiel de compétences des enseignants. BO du 25 juillet 2013.
- [5] Document disponible sur le site de la CTI <http://www.cti-commission.fr/Missions-de-la-CTI>.
- [6] Bonah, C., Haxaire, C., Mouillie, J.M., Penchaud, A., L., Visier, L. (dir.) *Médecine, santé et sciences humaines. Manuel du Collège des enseignants de SHS en médecine et santé*, Paris, Les Belles Lettres, 2011.
- [7] Document disponible sur le site: <http://www.oecd.org/fr/general/plaidoyerpourunenseignementmoderne.htm>. Site consulté le 16/09/2013.
- [8] Larcher, C., Schneeberger, P. (coord.) *Professionnalité des enseignants en sciences expérimentales*, ASTER n°45, 2007.
- [9] Lemeignan, G. et Weil-Barais, A. *Construire des concepts en physique*. Hachette, Paris, 1993.
- [10] Watts, D. Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213–217, 1983.
- [11] Trumper, R. Being Constructive: An Alternative Approach to the Teaching of the Energy Concept, Part one. *International Journal of Science Education*, 12, 343–354, 1990.
- [12] Robardet, G. et Guillaud, J.-C. *Eléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Publication de l'IUFM de Grenoble, 1995.
- [13] Duit, R. Should energy be introduced as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, 139–145, 1987.
- [14] Millar, R. Teaching about energy. Department of educational studies, research paper 2005/11, published online, 2005.
- [15] Freuler, L. (1995). Les tendances majeures de la philosophie autour de 1900, in *Les savants et l'épistémologie vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle*, éd. Marco Panza et Jean-Claude Pont, Paris, Albert Blanchard, p. 1–15.