

Enseignement de science expérimentale : questions de vigilances

par Daniel BEAUFILS
Institut National de Recherche Pédagogique
Département Technologies Nouvelles et Éducation
91, rue Gabriel Péri - 92120 Montrouge
et
Université Paris XI - Bât 470
préparation CAPES
91405 Orsay cedex

Les éléments présentés ici sont issus de réflexions qui, bien que concernant des sujets différents - l'introduction d'un enseignement d'informatique en classe de seconde, l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement de physique au lycée¹, la préparation à l'épreuve sur dossier du CAPES, la formation continuée des enseignants -, ont convergé vers quelques points qui, dès lors, ont paru importants. S'ils méritent sans doute d'être encore travaillés, ils dépassent d'emblée le contexte de leur élaboration et peuvent donc intéresser tout enseignant de science qui, à l'heure où les programmes changent de contenu et d'esprit, se trouve amené à une réflexion sur l'enseignement lui-même. Une première partie vise à indiquer brièvement comment trois «registres de vigilances» ont pu émerger puis, dans des parties spécifiques, des précisions sont données par des exemples de situations sensibles tirés de pratiques (et de recherche) en formation des maîtres. La dernière partie tentera d'en montrer l'intérêt général.

L'ÉMERGENCE DES CONCEPTS DE VIGILANCES

A propos de l'épreuve «sur dossier» du CAPES de Physique-Chimie

Dans cette épreuve l'étudiant doit faire la présentation d'une correction commentée d'exercice, d'une séance pédagogique, d'une analyse de cours, T.P. ou T.P.-cours, etc. La présentation du candidat

1. A ce titre cet article fait écho à une communication faite lors des sixièmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques [4].

(ainsi que les réponses aux questions complémentaires du jury) doivent montrer la maîtrise des «connaissances scientifiques» et le «degré de réflexion sur les méthodes d'enseignement» (premier alinéa des «objectifs généraux», B.O. spécial 5, 1993, page 42). Ce dernier point, complété par un paragraphe mettant en avant une réflexion sur «la démarche expérimentale et sa mise en œuvre dans diverses situations d'enseignement» et sur «l'analyse des voies conduisant à une notion donnée à un niveau donné», apparaît problématique, puisque cela revient pour partie à demander aux étudiants de faire preuve de savoirs et de savoir-faire relatifs à un enseignement qu'ils n'ont jamais pratiqué (gestion du temps, matériel disponible, etc.). Ce problème était même crucial dans l'ancienne épreuve dite «professionnelle» : l'incohérence entre le libellé et ce qui pouvait être attendu des étudiants a donc été «résolue institutionnellement».

Mais la résolution aurait dû porter sur l'explicitation d'un caractère plus didactique que professionnel, et prendre en compte le fait que la seule requête légitime dans ce cadre, est de demander à l'étudiant de faire preuve de vigilance dans son analyse, d'une vigilance didactique, l'adjectif étant à prendre ici dans un sens large allant de la maîtrise du contenu à une prise en compte des modes d'apprentissage des élèves. En fait, trois plans semblent devoir être distingués² : un plan scientifique qui concerne les savoirs et savoir-faire de sciences physiques et chimiques, un plan plus général, que l'on peut qualifier d'épistémologique qui concerne la démarche scientifique, et un plan didactique (dans un sens restreint cette fois) qui concerne l'apprentissage et les compétences des élèves.

A propos de la formation «didactique» en seconde année d'IUFM

A ce niveau, les connaissances scientifiques théoriques ne sont plus en question et la formation, d'ordre didactique, doit aider à l'élaboration de séquences d'enseignement. Conformément aux déclarations maintes fois reprises, il s'agit de l'enseignement d'une science expérimentale qui doit donc être tel. Mais une telle position est plus forte que ne laisse entendre «l'évidence» de cette formulation puisqu'il faut que les étudiants se débarrassent d'une image de la science et de son enseignement qui n'a en général comme référence que leur propre cursus universitaire... Au-delà de l'exigence d'exactitude scientifique des propositions de

2. Ceux-ci apparaissant bien dans l'analyse d'exercices à protocole expérimental ou de T.P.-cours, notamment.

cours et T.P. des stagiaires, c'est donc une prise de conscience épistémologique qui est attendue. Par ailleurs, l'idée d'une professionnalisation de l'enseignement exige naturellement que l'on cesse d'ignorer les apports des nombreux travaux de didactique qui ont été faits sur la nature et l'origine des difficultés des élèves (préconceptions et obstacles), et de laisser croire qu'il suffit de bien présenter les résultats de la science pour les bien faire comprendre...

Mais l'étendue et la complexité de ces deux nouveaux champs de connaissances (épistémologie et didactique) sont telles que, ajoutées à l'urgence d'une maîtrise technique de la classe, il convient là encore sans doute de viser d'abord l'acquisition de «réflexes de vigilance».

A propos de l'ordinateur en sciences physiques

Depuis plusieurs années, l'utilisation de l'ordinateur est l'une des innovations majeures dans l'enseignement des sciences physiques au lycée. Mais l'invention d'une nouvelle expérience ou la préparation d'une succession de cours-T.P.-devoir intégrant la mise en œuvre de moyens informatisés nécessite une vigilance toute particulière : l'engouement pour l'automatisation des mesures, la rapidité des traitements, la souplesse d'utilisation, etc., ne doit pas en effet conduire à une "emprise technologique" et à mettre en avant le dispositif informatisé, et ce au point parfois de n'avoir que l'ordinateur pour justifier l'utilisation de l'ordinateur...

De nouveau, l'exigence de vigilance doit s'appliquer à la fois sur les trois plans déjà mentionnés. Sur le plan scientifique, elle doit porter sur le bon usage de méthodes informatisées parfois non élémentaires (optimisation automatique de modèles mathématiques, analyse spectrale par transformée de Fourier discrète rapide, par exemple). Sur le plan épistémologique, il s'agit de veiller à présenter une image satisfaisante de démarches scientifiques modernes (et parfois gérer l'anachronisme né de l'utilisation de techniques très contemporaines pour l'étude de phénomène très anciens). Enfin c'est bien évidemment le plan didactique qui est en jeu lorsqu'il s'agit de s'assurer de la compréhension des élèves et de veiller à n'évaluer que les compétences correspondantes raisonnablement exigibles³.

3. Dans la suite, nous ne détaillerons par les exemples liés à l'utilisation de l'ordinateur qui ont fait l'objet d'autres publications [2], [4], [5].

UNE VIGILANCE SCIENTIFIQUE

C'est sans aucun doute la première exigence, tant du point de vue de ce qui est attendu d'un futur enseignant que du seul point de vue de son évidence. Cette vigilance concerne, par exemple, la validité scientifique des sujets d'exercice : cohérence interne de l'énoncé (le problème doit évidemment être soluble) mais aussi (surtout ?) cohérence externe : exactitude et limite du modèle utilisé, légitimation du niveau d'approximation, référence à une expérience de laboratoire, etc.

Ainsi, à propos d'un exercice de mécanique portant sur le mouvement sur un plan incliné, par exemple, (voir document en Annexe) un étudiant préparant l'épreuve sur dossier doit-il être capable d'expliciter la nature d'un frottement fluide ou solide (et d'en donner des caractéristiques distinctives), de dire comment les vitesses sont (ou peuvent être) mesurées expérimentalement, quelles sont alors les incertitudes (et comment elles varient), si les conditions d'utilisation d'une régression linéaire sont remplies, etc. Cette explicitation est fondamentale car derrière l'implicite coutumier de certains textes apparaissent alors souvent des points qui mettent en question la validité scientifique de la description du dispositif expérimental et/ou des valeurs numériques, et la pertinence de certaines questions de l'exercice : comment sont obtenues les différentes *mesures* (des vitesses dites instantanées et pour un grand nombre de positions successives, dans l'exemple donné), quel critère scientifique permet de juger qu'un facteur est *négligeable*, quelle *précision* peut/doit être donnée dans le résultat, telle grandeur peut-elle (doit-elle) être considérée comme constante, peut-on réellement calculer une valeur (*la valeur*) compte tenu des incertitudes sur les données initiales, etc. ? Dans ce type d'exemple il est clair que l'on attend de l'élève de lycée, *in fine*, une réponse stéréotype plus qu'une analyse sérieuse et donc que l'on évalue l'aptitude à décoder les questions plus qu'une attitude scientifique. Ces remarques faites ici à propos d'exercices de baccalauréat (à protocole expérimental notamment) concernent également des exercices de collège⁴ ou la réalisation de T.P. au niveau de la classe de seconde⁵.

4. Il est facile de trouver dans des manuels scolaires des exercices sur les piles et les ampoules pour lesquels la réalisation expérimentale ne donnerait pas les réponses "attendues".

5. Voir par exemple les questions liées à l'introduction de l'acoustique musicale [4].

Les étudiants de seconde année d'IUFM se trouvent également confrontés à des situations où leur vigilance scientifique doit s'exercer. Ainsi par exemple, les questions de modélisation de générateurs de courant ou de tension ou de composants électroniques tels que la diode nécessitent, au-delà d'une connaissance scientifique minimale (polarisation des piles, impédance interne d'un générateur électronique, principe de la jonction PN, etc.), des connaissances "élargies" portant en particulier sur le choix entre différents niveaux de modèle⁶. L'exemple bien connu est celui de la diode qui, suivant l'utilisation prévue, devra être modélisée comme un interrupteur simple, une barrière à seuil, ou un composant à caractéristique non linéaire. La simplicité des sujets de collègue ou de lycée et l'exactitude de leur traitement sont donc souvent apparentes, pour ne pas dire illusoire...

UNE VIGILANCE ÉPISTÉMOLOGIQUE

Cet aspect est plus délicat car tout à la fois fondamental, trop souvent ignoré ou confondu avec les aspects scientifiques évoqués ci-dessus. L'expérience de la formation des futurs maîtres (qui doit tenir compte de la nature de l'évaluation finale) et les différents exemples de situations d'enseignement qui ont pu être analysées dans le cadre de recherches en didactique montrent pourtant qu'une telle composante se distingue de la composante scientifique plus "technique" décrite ci-dessus.

Cette vigilance épistémologique doit en particulier s'appliquer à l'idée de démarche scientifique. Ainsi éviterait-on peut-être la mise en avant exclusive de l'Expérience qui, à l'œuvre dans des démarches inductives ou dans des entreprises de vérification de loi, n'a non seulement pas la validité scientifique (au sens précédent) mais pas non plus de légitimité épistémologique. Les étudiants devraient apprendre à dénoncer des introductions d'exercices du type «trouver par l'expérience la formule théorique de...», à dépister des exercices faussement fondés sur une démarche expérimentale où le "protocole" ne peut clairement être compris que s'il l'on connaît la leçon classique faite sur le sujet... Dans le même ordre d'idées, les futurs professeurs doivent être capables d'imaginer des T.P. ou T.P.-cours où les méthodes d'investigation scientifique utilisées ne soient pas à la limite de

6. Question que les élèves-professeurs découvrent généralement à l'occasion de leur propre enseignement.

cohérence avec la situation-phénomène proposée : éviter *l'introduction* des lois de la chute libre par l'étude directe de la hauteur en fonction du carré du temps⁷, ou de vouloir faire la *preuve expérimentale* de l'harmonicité de l'oscillateur linéaire, par exemple.

Plus généralement, enseigner la physique suppose que l'on soit averti des difficultés conceptuelles liées à l'invention de certaines théories ou de certains modèles. Or il est possible d'appuyer certaines activités sur des éléments d'histoire des sciences montrant en particulier à la fois l'ingéniosité des scientifiques et leurs incertitudes, le principe d'expériences simples mais souvent délicates à réaliser, les conflits entre les prédictions théoriques et les résultats expérimentaux, les difficultés d'acceptation d'une idée nouvelle par la communauté scientifique, etc. Ainsi conviendrait-il peut-être d'être clair sur le fait que les sciences physiques sont un savoir construit par l'esprit et le fruit d'une «quête avec difficulté»⁸. C'est en effet en l'absence de recul historique que l'on oublie la difficile émergence de concepts comme la quantité de mouvement, l'énergie cinétique, l'intensité d'un courant, la température, etc. ; et c'est en l'absence de cette vigilance épistémologique qu'on laisse émaner (et s'installer dans l'esprit des élèves) une image de la science depuis longtemps remise en cause, celle d'une voie royale, c'est-à-dire objective, cumulative, logique, fondée sur un réel qu'il suffit d'observer avec attention, etc. Ce sujet à lui seul pourrait faire l'objet de nombreux développements⁹. Si nous insistons ici, c'est qu'il y a là une importante difficulté de formation et que, en son absence, la fausse image de la science qui est présentée n'est pas propice à donner confiance aux élèves, et donc à les attirer vers des études scientifiques¹⁰.

UNE VIGILANCE "DIDACTIQUE"

Le terme didactique est mis entre guillemets car, d'une part la dimension épistémologique évoquée ci-dessus relève déjà d'une vigilance didactique prise dans sa globalité et, d'autre part, la maîtrise de

7. Une telle méthode n'étant pas générale et une telle intuition devant légitimement décourager l'élève "lambda"...

8. Voir [17] et [15], par exemple.

9. Voir en fin d'article quelques références bibliographiques qui concernent ces différents points : [1], [12], [14].

10. Point de vue en partie illustré dans «Autour de l'idée de science, itinéraires cognitifs d'étudiants» [16].

la réalisation effective dans une classe (compte tenu des contraintes de temps, de matériel, etc.) n'est pas prise en compte dans notre schéma. Le terme "didactique" renvoie donc ici à une certaine connaissance du fonctionnement cognitif et à l'articulation enseignement / apprentissage / évaluation.

Pour le seul enseignement de sciences physiques, il est impossible de faire ici une présentation d'ensemble même rapide des apports de la didactique¹¹, et nous ne citerons que quelques points qui nous intéressent directement. Ainsi, il convient sans aucun doute qu'un futur enseignant ait quelques connaissances sur l'existence de conceptions privées (erronées en regard des conceptions scientifiques à faire acquérir) chez les élèves, qu'il ait quelque idée des difficultés (voire obstacles) que peuvent constituer certaines acquisitions de connaissance (le principe d'inertie, la relation fondamentale de la dynamique, la distinction courant/tension, etc.) ou certaines résolutions de problème (en mécanique, électrocinétique et chimie, notamment). Ceci est d'autant plus important à prendre en compte que la didactique a montré qu'une partie de ces représentations ne provient pas de l'univers personnel de l'élève ou de la vie courante, mais bien de l'enseignement lui-même ! A défaut de pouvoir détailler ici, reprenons la "boutade" de J. PIAGET citée par V. de LANDSHEERE : «ce ne sont pas les matières qu'on leur enseigne que les élèves ne comprennent pas, mais les leçons qu'on leur donne».

De même, la proposition de «faire de la physique» dans le cadre de l'enseignement non seulement correspond à une évolution de la conception de l'enseignement du domaine mais ne semble guère pouvoir être envisagée sans s'inscrire dans le paradigme constructiviste de l'apprentissage¹². Il y a là à nouveau une difficulté pour la formation : outre le fait qu'en première année, la préparation du concours retient toute l'attention des étudiants et qu'en seconde année l'urgence est celle de la maîtrise de la classe, l'introduction de ces éléments de didactique ne peut se faire par voie purement expositive. C'est l'implication des professeurs stagiaires eux-mêmes, dans une activité réflexive, qui peut toucher de façon profonde et peut être profitable à long terme. La difficulté vient alors de ce qu'une telle activité est parfois très déstabilisante pour le futur maître, puisqu'elle met en question la formation universitaire suivie et qu'elle amène

11. On pourra se référer à l'ouvrage [14], cité en bibliographie.

12. Voir [10], [17], par exemple.

rapidement à l'explicitation de ses propres représentations qui concernent tout à la fois la physique, l'image de la science et... l'enseignement...¹³

CONCLUSION

La remarque finale du paragraphe précédent a montré que l'on retombait nécessairement, dans une problématique de formation, sur les trois types de vigilance évoqués en introduction. Il est clair que ces trois plans sont fondamentalement liés : une négligence scientifique peut rendre invalide un sujet et caduque toute «démarche scientifique» ; une négligence épistémologique peut créer un décalage ou un vide faisant ensuite office de difficulté d'apprentissage ou laissant se construire des représentations privées erronées ; un mauvais dosage de compétence et de savoirs requis peut rendre impossible une démarche scientifique, etc.

Mais ce qui ressort en particulier de travaux menés au niveau de la formation des professeurs stagiaires¹⁴ est une confusion par recouvrement des trois registres : la science est confondue avec son image (avec la représentation qu'on s'en fait) et l'activité scientifique est confondue avec l'activité didactique. Ainsi la «monstration»¹⁵ est-elle confondue avec la démonstration, l'argument rhétorique visant à emporter l'adhésion est-il présenté comme preuve expérimentale, l'induction didactique étant légitimée en tant que processus d'investigation scientifique... Pour résumer en une phrase, notre point de vue est donc *que l'acquisition d'une attitude réflexive sur ces trois registres est un élément nécessaire de la formation des maîtres.*

Notons enfin que la confusion décrite ci-dessus apparaît également dans certains discours à propos de l'usage de l'ordinateur et de la démarche expérimentale (souvent de façon implicite, seulement débusquée lors de "glissements" dans l'argumentation) mais aussi dans les objets eux-mêmes (procédés et matériels didactiques¹⁶) et dans les pratiques (de T.P. notamment¹⁷). Ceci dépasse donc le cadre de la formation des enseignants pour concerner les contenus et les pratiques

13. Voir [14], [20], [21], par exemple.

14. Voir [20], déjà cité.

15. Voir [14], déjà cité.

16. Le cas de certains logiciels qui sont parfois semi-outil-scientifique, semi-moyen-pédagogique est caractéristique (voir [6]).

17. L'analyse de fiches - T.P. "classiques" met facilement ceci en évidence.

d'enseignement et nous semble, ainsi que nous le disions en introduction, particulièrement important à l'heure où de nouveaux programmes sont à mettre en place, et où une évaluation des aptitudes expérimentales en fin d'enseignement secondaire est à l'étude.

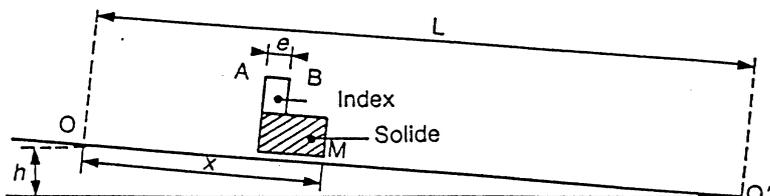
BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. AUDIGIER et P. FILLON (Dir), 1991 - *«Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire»*, Paris : INRP, 352 pages.
- [2] D. BEAUFILS, 1991 - *«L'ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques ; proposition pour la construction d'activités ; première analyse des difficultés et compétences chez les élèves de lycée»*, thèse, LIREST - Université Paris VII.
- [3] D. BEAUFILS, 1992 - *«Ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : implications didactiques et pédagogiques»*, in actes des 5^{èmes} journées «Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques», Paris : U.d.P.-INRP, 105-110.
- [4] D. BEAUFILS, 1994 - *«De l'ordinateur à l'enseignement des sciences : questions de vigilances...»*, in actes des 6^{èmes} journées «Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques», Paris : U.d.P.-INRP, 67-72.
- [5] D. BEAUFILS, 1994 - *«Le son : qu'entendez-vous par là ?»*, B.U.P. n° 761, 371-375.
- [6] D. BEAUFILS et M. SCHWOB, 1991 - *«Du laboratoire à la salle de classe»*, B.U.P. n° 731, 205-224.
- [7] B.O., 1991 - Épreuve professionnelle des concours externes du CAPES, CAPET et CAPEPS, n° 33, 2248-2266.
- [8] B.O., 1993 - Note de commentaires relative à la nature des épreuves concours externe du CAPES, numéro spécial 5, 41-44.
- [9] S. COELHO, 1993 - *«Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants»*, Thèse de Didactique des sciences, Université Paris VII, 2 vol., 256 + 73 p.
- [10] V. de LANDSHEERE, 1992 - *«L'éducation et la formation»*, Paris : PUF, Collection 1^{er} cycle, 734 pages.

- [11] A. GUILLON, 1992 - «*Travaux pratiques de physique en DEUG, et démarches scientifiques*», in actes du 3^{ème} Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, Toulouse : Université de Toulouse, 11-24.
- [12] I. HACKING, 1989 - «*Concevoir et expérimenter*», Paris : Christian Bourgeois Éditeur, 460 pages.
- [13] M. HULIN, 1992 - «*Le mirage et la nécessité*», Paris : Presses de l'ENS et Palais de la Découverte.
- [14] S. JOHSUA, J.-J. DUPIN, 1993 - «*Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*», Paris : PUF, Collection 1^{er} cycle, 422 pages.
- [15] T. KUHN, 1983 - «*La structure des révolutions scientifiques*», Paris : Flammarion, coll. Champs, 285 pages.
- [16] M. LAROCHELLE et J. DESAUTEL, 1992 - «*Autour de l'idée de science, itinéraires cognitifs d'étudiants*», Bruxelles : De Boeck Université et Presse de l'Université de Laval, 314 pages.
- [17] G. LEMEIGNAN et A. WEIL-BARAIS, 1993 - «*Construire des concepts en physique*», Collection Didactiques/Pédagogies pour demain, Hachette-Éducation, 222 pages.
- [18] G. ROBARDET, 1994 - «*La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste*», in actes du 4^{ème} Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, Université de Picardie, 4-22.
- [19] G. ROBARDET et J.-C. GUILLAUD, 1993 - «*Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*», Grenoble, Presse de l'IUFM, 200 pages.
- [20] M. SAINT-GEORGES (à paraître) - «*Place et rôle de la didactique dans la formation des professeurs stagiaires de sciences physiques*» ; Colloque Recherche et Formation des Enseignants, Toulouse.
- [21] M. SAINT-GEORGES et J. BRENASIN, 1994 - «*Formation à la didactique des élèves-professeurs de sciences physiques*», Biennale de l'éducation et de la Formation (Paris, La Sorbonne, avril 1994).
- [22] J. WINTHER, 1992 - «*Étude didactique de l'utilisation de l'informatique pour la modélisation et la manipulation de modèles en sciences physiques*», thèse, LIREST-Université Paris XI.

Annexe 1

Exemple de sujet d'épreuve de baccalauréat (extrait)



Un solide S de masse $m = 60,0$ g peut glisser sur un rail OO' de longueur $L = 1,60$ m dont l'extrémité O a été soulevée de $h = 1,00$ cm. Le solide est abandonné, sans vitesse, du point O . Il est muni d'un index de carton de largeur $e = 2,00$ cm. Lors du passage du solide par le point M à la distance x de O , un chronomètre mesure la durée θ qui sépare le passage des deux extrémités A et B de l'index, tandis qu'un second chronomètre mesure la durée totale t du trajet OM .

x (cm)	0	5,0	10,0	15,0	20,0	...	40,0	50,0	60,0
θ (s)	–	0,198	0,157	0,132	0,117	...	0,087	0,080	0,076
t (s)	0	1,68	2,10	2,47	2,81	...	3,78	4,20	4,60
v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0	0,101	0,127	0,152	0,171	...	0,230	0,250	0,263

1 - Représenter graphiquement sur papier millimétré les variations de v en fonction de t .

[...]

2 - En supposant que le solide est soumis pendant tout son mouvement à une force de frottement d'intensité f due à l'air [...] :

a - montrer que tant que x est inférieure à 40 cm la force de frottement est pratiquement indécélable.

b - calculer l'accélération du mouvement pour x comprise entre 50 et 60 cm et calculer la valeur correspondante de f .

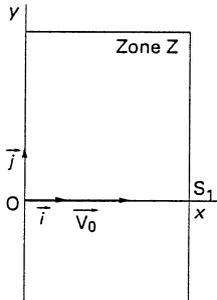
Annexe 2

A propos de vigilance

Tout le monde connaît le “classissime” exercice de la particule chargée qui arrive avec une vitesse v_0 dans un champ magnétique constant. Ci-dessous un exemple de formulation (extrait d’une épreuve de bac) :

à la date $t = 0$, une particule électrique chargée négativement pénètre en O avec une vitesse $\mathbf{v}_0 = v_0 \mathbf{i}$ dans une zone Z où règne [...] un champ magnétique \mathbf{B} uniforme dont la direction est orthogonale au plan $(O, \mathbf{i}, \mathbf{j})$. Le poids de la particule sera négligé devant les autres forces que vous prendrez en compte.

[...]



3 - [...] en argumentant votre réponse, représenter sur la figure la force qui agit sur elle en O.

Question : que doit-on dire à un (bon) élève de terminale qui (ayant bien appris son cours et bien compris l’intérêt des référentiels équivalents) propose alors, pour simplifier les calculs, de choisir le référentiel galiléen associé à la particule (initialement en translation rectiligne uniforme par rapport au laboratoire) ? Car, peut-il *argumenter*, dans ce référentiel, la vitesse est bien évidemment 0 à l’entrée de la zone de champ magnétique, et donc la force “magnétique” qui s’exerce alors est tout simplement égale à...