

## Concevoir un dispositif expérimental pour valider ses hypothèses en physique

Date de mise ligne :	19 novembre 2009
Auteur :	Béatrice Jouin au lycée professionnel Jean-Pierre Timbaud à Aubervilliers (93)

### 1. Objectifs et choix pédagogiques

Cette séance sur la force de frottement faisait partie d'une séquence d'apprentissage du concept de force, pour des élèves de BEP maintenance des véhicules automobiles.

Les phénomènes de frottement n'étaient pas étudiés officiellement à ce niveau d'étude, mais comme ils sont très importants dans cette filière technique, ils ont été abordés dans le cadre de l'enseignement modulaire. Dans les instructions officielles (qui ont changé depuis la rentrée 2009 mais préconisent une démarche analogue), les élèves de BEP devaient acquérir « des connaissances et des méthodes : partir d'un problème, inventorier les paramètres dont dépend le phénomène, émettre des hypothèses, proposer des expérimentations permettant de tester la validité d'une hypothèse, choisir un mode de saisie et d'exploitation des données, énoncer une loi expérimentale et en estimer les limites du champ d'application ». Ces compétences s'apparentent à une démarche scientifique. Elles doivent être développées au cours des activités proposées aux élèves tout au long de l'année, toute ou partie de la démarche étant mise en œuvre selon les contenus abordés.

Dans la séance présentée, les objectifs méthodologiques visés étaient tout d'abord que les élèves identifient les paramètres qui influent sur la force de frottement statique limite (voir plus loin la présentation du concept aux élèves). Cette phase a été menée oralement et collectivement, les élèves proposant des facteurs influant et le professeur reformulant les propositions. Les élèves avaient déjà eu l'occasion de faire des propositions de ce type dans d'autres leçons de physique, aussi ce moment, important pour la suite de la leçon mais n'en constituant pas le cœur, devait ne pas durer trop longtemps tout en impliquant les élèves. La reformulation du professeur se devait alors d'être rapide.

La tâche essentielle consistait à formuler une hypothèse concernant l'influence d'un paramètre et à proposer une expérimentation permettant de la valider, ce qui était nouveau pour les élèves. Cette phase a été réalisée en groupes de trois ou quatre élèves, chaque groupe travaillant sur un paramètre différent. L'enjeu de ce moment était que les élèves du groupe se mettent d'accord sur une hypothèse et élaborent un protocole expérimental (le professeur ayant présenté le matériel disponible), qui serait présenté à la classe, mis en œuvre afin de valider ou infirmer l'hypothèse émise. La validation est alors collective, au vu des résultats expérimentaux et de l'apport du professeur.

Ce dispositif permettait de travailler différents usages de l'oral et avait pour enjeu fort d'accorder une place importante à la parole des élèves et de partir d'elle.

### 2. Transcription des moments de la séance mettant en évidence les interactions et l'étayage

**Phase 1**, *Le professeur présente l'objet d'étude de la séance.*

P : Aujourd'hui, on va étudier la force de frottement statique limite. Qu'est-ce que ça veut dire ? on va essayer de regarder la force qui a la plus petite intensité et qui provoque le mouvement. D'accord ? Je tire, ça ne bouge pas. Je tire plus fort, ça ne bouge toujours pas. Je tire de plus en plus fort, et à un moment donné, l'objet va se mettre en mouvement.

E1 : Et nous, on peut pas calculer l'intensité qui fait déplacer l'objet ?

P : Si, et c'est ça qu'on va faire, ou plutôt on va la mesurer et voir de quels facteurs ça dépend. C'est ça qui va nous intéresser, la force de frottement statique limite.

E7 : Ça dépend si le sol est glissant

Les élèves sont alors invités à émettre des hypothèses. Ils s'expriment spontanément, énumèrent des facteurs, en utilisant leur vocabulaire.

P : C'est très bien d'avoir dit ça, ça me donne l'occasion de passer à l'étape suivante (*lit la feuille distribuée aux élèves*) : « je vous demande de faire des hypothèses sur les facteurs dont dépend l'intensité de la force de frottement statique ». Je vous écoute...

E1 : Le sol, le poids

E7 : De la matière

E2 : Et la peinture aussi, du support de l'objet

P : Ou alors, comment peut-on dire ?

E4 : Si la surface est plate

E3 : De la dimension, de la taille de la surface aussi

P : Il faut distinguer si c'est la dimension ou la nature de la surface, ce n'est pas pareil ! D'accord ?

E4 et E3 : Oui

P : Ok, donc ça peut dépendre du poids de l'objet, de la dimension et de la nature de la surface. Pour la nature de la surface, on parle aussi de l'état de surface

*Dans ce temps de recherche, le professeur accepte les formulations approximatives des élèves car il s'agit d'un temps où ceux-ci s'engagent dans l'activité. C'est aussi un moyen de vérifier leur compréhension du problème et de connaître leurs représentations de la situation. L'intervention du professeur vise à faire préciser les idées. Ensuite il reprend les propositions des élèves, les reformule au besoin dans un langage plus scientifique visant l'appropriation, et en vérifiant que les élèves acceptent le passage d'une formulation à l'autre.*

*Remarque : si la priorité de la séance avait été la recherche d'une formulation consensuelle, cette phase aurait pu donner lieu à une élaboration des propositions par les élèves, donnant plus de place à l'interaction avec eux.*

**Phase 2**, le professeur présente la suite du travail : proposer des expérimentations permettant de valider les hypothèses émises. Il répartit les élèves en groupes

P : Voilà ce qu'on va faire : le problème va être de voir si effectivement, les hypothèses que vous avez formulées sont valides ou pas. Comment on va s'y prendre ? Qu'est-ce qu'on va faire ? Les hypothèses sont faites. Le montage qui est proposé est le suivant : vous allez avoir plusieurs supports. Vous avez un objet sur ce support et puis on va tirer avec un dynamomètre (montre le matériel). On va tirer et on va voir pour quelle intensité l'objet va se déplacer.

E1 : On cherche quelle force il faut pour qu'il commence à bouger ?

P : Oui, mais ce n'est pas suffisant. On a supposé que ça dépendait du poids de l'objet, de la dimension de la surface de contact et de l'état de surface du contact. Il y a trois choses à vérifier. Alors je vais vous demander de choisir une des trois hypothèses et de proposer une manipulation. Le problème que je vous pose est le suivant : qu'est-ce qu'on doit faire comme manipulation pour prouver que l'hypothèse qu'on a faite est bonne ou pas bonne. C'est clair ? On a différents objets, différents supports possibles... (montre le matériel). Et puis, il y a éventuellement des masses marquées

*Le professeur récapitule et explicite la tâche demandée de manière à clarifier les attentes, lever les malentendus possibles et fournir aux élèves des termes précis, des formulations propres à la discipline.*

*Il aide les élèves à s'organiser, leur présente le matériel pour cadrer leur recherche.*

*Remarque : il aurait dû être plus explicite sur le support de la production attendue : fiche préparée, affiche...*

**Phase 3**, les élèves se mettent au travail... Flottement dans les groupes, certains élèves exprimant leur résistance à cette forme de travail, nouvelle pour eux. Le professeur doit reformuler la consigne, les aider à entrer dans la tâche.

E5 : C'est dur, ça se fait pas en cinq minutes

P : C'est dur mais c'est passionnant. Allez ! (les élèves s'installent par groupes). Que devez-vous proposer...  
(en direction d'un groupe) Comment vous prouvez que la dimension de la surface de contact intervient ?

E2 : Eh bien, on prend un truc...

P : Tu l'écris !

E5 : On ne sait pas ce que ça va donner !

P : Justement, le problème c'est : qu'est-ce que tu fais pour prouver ? Après, tu concluras : « mon hypothèse était valable, mon hypothèse n'était pas valable ».

*Le professeur va de groupe en groupe et ses interventions visent à étayer la réflexion des élèves, en anticipant par exemple sur ce qu'ils devront produire, les mettre en confiance et aussi les faire entrer dans une démarche scientifique*

*Les élèves de chaque groupe discutent à voix basse de la manipulation à proposer (ces interactions n'ont pas pu être enregistrées). A un moment, un élève aide un autre groupe.*

E1 : Après, on prend le bois.

E7 (manipule) : 7

P : C'est pas des mesures précises, mais ça accroche plus. Maintenant, qu'est-ce que vous prenez ?

E1 : Le lino

E7 (manipule) : 8.

E3 : Et s'il y a de l'huile sur le lino., ça glisse plus !

P : On essaie ? (va chercher de l'huile dans le labo et en verse sur le lino)

E7 (manipule) : 6.

P : On arrive à 6N Conclusion ? Il y a une différence. C'est ce qu'on appelle le coefficient de frottement, qui est différent suivant la nature et l'état de la surface

E2 : Pour nous (hypothèse portant sur l'influence de la dimension de la surface), il faudrait que les objets aient le même poids mais qu'ils soient de taille différente.

E6 (d'un autre groupe) : Tu prends le même objet et tu le mets dans deux positions différentes. .

*Ainsi, le travail de groupe favorise aussi l'étayage entre pairs : discussions dans les groupes et entre les groupes.*

**Phase 4**, après dix minutes de travail de groupe, où les élèves ont noté leur proposition, vient la communication à la classe.

P : Est-ce que vous avez tous une idée ? Allez ! Le poids ! Qu'est-ce que vous nous proposez ? Vous venez au tableau et vous expliquez aux autres.

E6 : On prend un gros et un petit objet et on mesure l'intensité. Les intensités doivent être différentes suivant le poids

P : Mais encore... Sois plus précis !

E6 : Petite intensité pour le petit objet, grande intensité pour le gros objet.

P : Ils disent (en direction de la classe) : petit objet, petite intensité, gros objet, grande intensité. On pourrait encore dire : plus le poids est important, plus la force sera grande. Regardons...

*Le professeur recentre, souligne et fait préciser ce qui est à observer. Il s'adresse à la classe, pour « officialiser » la proposition du groupe. Il introduit une idée de relation fonctionnelle entre les deux grandeurs deux situations particulières, ce qui est moins intéressant scientifiquement.*

*Remarque : il aurait pu demander à un élève de la classe de reformuler la proposition, afin d'impliquer plus le groupe entier.*

P : (Un élève manipule) Pour le petit objet, c'est 2N. Bon, maintenant, pour le gros objet ?

E8 (manipule) : 7,5N

*Après une discussion avec le professeur qui demande plus de rigueur (ne pas se contenter d'une expérimentation, prendre en considération la matière des objets, quand on compare leur poids en fonction de leurs dimensions, passer d'une comparaison de deux situations à une relation mettant en jeu la variation d'une des grandeurs) et d'autres expérimentations, les élèves sont amenés à conclure.*

E6 : Ça dépend du poids.

P : Oui, mais c'est plus précis que ça.

E6 : Plus l'objet est gros, plus la force est grande

P : Donc votre hypothèse a été vérifiée, la force de frottement statique limite, celle qui provoque le mouvement, est d'autant plus grande que le poids de l'objet est plus grand.

*L'intervention du professeur vise à valider la proposition, la formuler dans un langage plus scientifique visant l'appropriation.*

*Remarque : le professeur aurait pu demander au reste de la classe de reformuler la conclusion, de manière à les impliquer davantage et les habituer à élaborer une conclusion à partir de résultats expérimentaux.*

*Le deuxième groupe vient présenter. Son hypothèse n'est pas validée expérimentalement, ce que certains élèves acceptent facilement (E3), d'autres avec plus de résistance (E2).*

E2 : Plus la surface de contact est grande, plus la force est grande.

P : Et qu'est-ce que vous faites pour le prouver ?  
(les élèves prennent la planche de bois comme support) D'abord, ils mettent l'objet sur la grande surface. Combien vaut l'intensité ?

E3 : 2.

P : Maintenant, l'objet est posé sur une surface plus petite. Regardez bien.

E3 : 2 ... 2,5.

P : 2 ou 2,5. Une autre surface...

E3 : Il n'y a pas de différence

E6 (prend son temps et mesure) : 2,75.

E2 : Un peu quand même !

P : pour l'instant, votre hypothèse ?

E : ...

P : Deuxième objet.

E3 : 0,75. (change de surface). 0,75. Pareil.

E2 : Là, ça dépasse. Tu vois de travers !

E3 : 1...

P : Alors, qu'est-ce que vous en pensez ?

E2 : Ça agit un peu.

P : On essaie avec un autre objet ? (E2 manipule)

E2 : 2,5 - 3.

P : Et là ?

E2 : 2,5 - 3.

P : Conclusion ?

E2 : Ça dépend des fois.

P : C'est très important, ce qui se passe là. En théorie, ça n'a pas d'importance, l'aire de la surface. Mais vous voyez que parfois, dans certaines expérimentations, on n'arrive pas toujours tout à fait au résultat théorique. Il peut y avoir des petites différences. Ceci dit, une hypothèse qui n'est pas validée, c'est au moins aussi important qu'une hypothèse qui est validée.

E1 : C'est pareil, alors ?

P : En théorie, l'aire de la surface n'a pas d'importance.

*Dans un premier temps, le professeur intervient pour amener les élèves à exprimer que leur hypothèse n'est pas valide, ce qu'il sait être difficile. Certains élèves (tel E3) acceptent le résultat mais d'autres (E2 par exemple, qui est un « bon » élève par ailleurs) ont plus de difficultés, résistent en jouant sur l'imprécision des mesures. Ensuite, il reprend ce qui est à retenir, à la fois sur le contenu et sur la démarche. Il fait ainsi ressortir l'aspect positif du travail de recherche scientifique, même quand une hypothèse est invalidée, ce qui fait également tomber de possibles tensions.*

*Le troisième groupe intervient pour rendre compte de son travail :*

P : (les élèves prennent plusieurs supports). Le carrelage, le bois, le lino.  
Les élèves manipulent) Avec le carrelage ça se met en mouvement avec ... 3 Newtons.

E8 (d'un autre groupe) : Sur le carrelage, ça glisse, toute de suite ça se met à glisser !

P : La preuve que non ! Regarde. Il faut qu'il tire avec 3N.

*Remarque : cette question aurait dû être renvoyée à la classe ou au groupe qui présentait, et le professeur se contenter d'animer la discussion plutôt que de fournir la réponse.*

E1 : Après, on prend le bois.

E7 (manipule) : 7

P : C'est pas des mesures précises, mais ça accroche plus. Maintenant, qu'est-ce que vous prenez ?

E1 : Le lino

E7 (manipule) : 8.

E3 : Et s'il y a de l'huile sur le lino., ça glisse plus !

P : On essaie ? (va chercher de l'huile dans le labo et en verse sur le lino)

E7 (manipule) : 6.

P : On arrive à 6N Conclusion ? Il y a une différence. C'est ce qu'on appelle le coefficient de frottement, qui est différent suivant la nature et l'état de la surface.

*Le professeur apporte les termes précis en situation quand les manipulations ont mis en lumière le phénomène.  
Remarque : soucieux d'arriver au terme de la leçon dans le temps imparti, et peut-être aussi pas assez confiant dans la capacité des élèves à formuler le résultat de leur travail, le professeur est très directif. Il aurait pu laisser les élèves présenter leurs propositions, expérimenter et conclure, ce qu'ils feront dans des séances ultérieures, où ils auront plus l'habitude de cette forme de travail.*

*La leçon se termine par une trace écrite reprenant les hypothèses et les résultats expérimentaux des différents groupes.*

### 3. Bilan de la leçon, du point de vue des interventions du professeur et de l'apprentissage des élèves

La parole des élèves a plusieurs fonctions :

- faire un inventaire des possibles quand ils proposent des facteurs influant sur le phénomène,
- interagir dans les groupes, et éventuellement entre groupes, pour produire une proposition élaborée,
- présenter à la classe le travail du groupe : hypothèse, expérimentation et, après manipulation, conclusion,
- demander des précisions au professeur,
- exprimer un malaise (incertitude sur la validité de l'hypothèse) ou une résistance (invalidation expérimentale de l'hypothèse), voire une opposition à la mesure d'un autre élève du groupe.

C'était la première fois que les élèves avaient à proposer un dispositif expérimental, et étaient peu habitués à présenter oralement devant la classe un travail élaboré par eux en groupe, aussi avaient-ils besoin d'être cadrés et mis en confiance. C'est ce que le professeur cherche à faire quand il intervient, mais il le fait trop et pas toujours à bon escient (je peux me permettre de critiquer, car le professeur, c'était moi !). Cette trop grande directivité se marque ainsi :

- les élèves sont peu sollicités pour des reformulations, ce qui ne permet pas bien de mesurer l'appropriation des formulations précises en lien avec la discipline,
- les interactions élèves/élèves ne sont pas beaucoup suscitées, même quand les élèves ont de toute évidence les moyens de répondre. Et si ce n'est pas le cas, la question peut faire l'objet d'une recherche collective,
- les élèves sont très peu invités à produire des conclusions. Or, être capable de tirer une conclusion est l'indice que l'élève fait le lien entre les activités proposées et l'apprentissage visé.

Des améliorations ont été signalées au fur et à mesure de la transcription de la séance. Elles visent à :

- mettre les élèves dans un cadre plus structuré, en annonçant plus explicitement comment va se dérouler le dispositif et ce qui est attendu d'eux,
- leur laisser une plus grande marge d'autonomie dans leur présentation, en les laissant annoncer les résultats expérimentaux et tirer leurs conclusions, ou encore en leur faisant réaliser les manipulations en groupe avant communication à la classe,
- renvoyer au groupe les remarques, propositions et questions individuelles, pour en débattre collectivement.

D'autres moments auraient pu être développés ou ajoutés, par exemple une synthèse élaborée collectivement par la classe, des bilans de savoirs sur ce qui a été travaillé dans la séance, sur ce qu'est une démarche scientifique, une hypothèse...

La séquence a tout de même été profitable aux élèves. Lors de la séance présentée, ils ont réussi à discuter entre eux pour formuler une hypothèse et concevoir un dispositif expérimental, ce qui était l'objectif méthodologique central. Le travail de groupe a permis de surmonter certaines réticences individuelles, car un tel travail implique une prise de risque, puisque le résultat n'est pas donné ni su à l'avance.

Les élèves ont eu à plusieurs reprises, dans d'autres séances, à émettre des hypothèses puis les valider. Lors du bilan de la séquence, l'un d'eux fait la remarque suivante : « des fois on se dit des choses dans notre tête, et on se dit que peut-être c'est vrai et peut-être ce n'est pas vrai ». Il ajoute « si je ne fais pas l'expérience, je ne peux pas savoir ». Il a donc acquis une prudence par rapport à ses représentations spontanées, élément essentiel d'une démarche scientifique !

Béatrice Jouin  
PLP au LP Jean-Pierre Timbaud à Aubervilliers  
Formatrice à l'IUFM de Créteil