

LES SCIENCES PHYSIQUES EN LYCÉE PROFESSIONNEL, DISCIPLINE DE SERVICE PAR RAPPORT À LA TECHNOLOGIE

Béatrice Jouin

En lycée professionnel, les sciences physiques ont essentiellement une fonction de "discipline de service" par rapport à la technologie.

Une confrontation entre les deux disciplines, dans un domaine professionnel particulier – la mécanique automobile – et pour un niveau d'étude – le BEP –, montre que la technologie utilise certains savoirs qui sont enseignés en sciences physiques et exige certaines compétences convergentes avec celles développées en sciences.

Ce travail a permis d'envisager comment l'enseignement des sciences physiques peut contribuer à la formation technologique des élèves, et de faire des choix concernant l'apprentissage du concept de force.

le lycée
professionnel,
contexte scolaire
particulier menant
à une qualification
professionnelle

Les élèves entrent au lycée professionnel à la sortie du collège pour suivre, pendant deux à quatre ans selon les diplômes préparés, une formation les menant à une qualification professionnelle. Ces diplômes – Certificat d'Aptitude Professionnelle (C.A.P.), Brevet d'Enseignement Professionnel (B.E.P.), Baccalauréat Professionnel – leur permettent d'accéder à des postes d'ouvriers qualifiés dans un domaine professionnel.

La formation comprend une partie d'enseignement dit "professionnel", et en réalité technologique, que Deforge (1991) décrit comme un "mixte de savoirs formalisés et de savoir-faire, d'enseignements théoriques et d'enseignements pratiques", et une partie d'enseignement "général", dans laquelle, aux niveaux CAP et BEP du moins, se situent les sciences physiques.

Dans ce contexte, l'enseignement des sciences physiques ne peut s'envisager de la même façon qu'en collège ou en lycée général. La fonction de cette discipline mérite d'être questionnée, afin de prendre en compte la dimension professionnelle de la formation, et avant de faire des choix concernant son enseignement.

1. LA QUESTION DE LA DISCIPLINE DE SERVICE

1.1. Les différentes fonctions d'une discipline

Martinand (1992) distingue, pour un contexte scolaire donné, des disciplines ayant une fonction de "formation", une fonction de "service", une fonction d'"ouverture".

selon le contexte scolaire, une discipline a une fonction de formation, de service...

Une discipline a une fonction de formation lorsqu'elle est discipline de base de la filière de formation.

Le concept de "*discipline de service*" a d'abord été utilisé en mathématiques. Howson et Kahane (1988), à la suite d'un colloque sur ce thème, affirment que cette prise de position apporte à la discipline un enrichissement, par les restructurations qu'elle rend nécessaires concernant les "*sujets à enseigner et les méthodes à introduire*", et s'inscrivent en faux contre le risque de dévalorisation qui pourrait y être attaché. Ils soulignent :

- l'effet motivant produit par le choix d'exemples pris dans le champ professionnel des étudiants ;
- la nécessité de privilégier l'aspect fonctionnel de l'enseignement, qui permet d'*apprendre à reconnaître les concepts dans des situations très différentes* ;
- l'importance de continuer à développer les modes de pensée propres à la discipline, la "*culture mathématique*" en l'occurrence ;
- la nécessité d'une bonne connaissance des deux disciplines et des relations entre elles : "*selon les aspirations de carrière et le choix de la discipline de base, les maths apparaissent parfois indispensables, parfois utiles mais de moindre importance. L'enseignement doit être adapté à ces différents types de demandes*".

Ces précisions restent pertinentes pour les sciences physiques en lycée professionnel, et conduisent à étudier ses relations avec la technologie, considérée comme discipline de formation, afin de caractériser le type de contribution qu'elle peut lui apporter.

... ou d'ouverture

La fonction de "*discipline d'ouverture*" correspond à ce que la discipline peut apporter de spécifique à la formation des élèves, de façon à leur permettre d'accueillir les nouveautés dans le champ de la discipline. Il s'agit, pour la physique au niveau d'étude considéré, de la possibilité d'expliquer ou de prédire des phénomènes à l'aide de modèles, et d'une méthode pour y parvenir, qui comprend :

- un regard sur les objets, qui les idéalise ou en privilégie certaines propriétés en fonction des problèmes en jeu ;
- un type de questionnement, qui permet de regrouper des phénomènes en classes de situations et de mettre en relation des objets et des phénomènes avec des paramètres et des modèles ;
- des réponses à ce questionnement ayant statut d'hypothèse ;
- le recours à l'expérimentation pour valider ou infirmer l'hypothèse ;
- la prise en considération du champ de validité d'un modèle.

1.2. Les disciplines dans le contexte particulier du lycée professionnel

En lycée professionnel, compte tenu de l'aspect professionnel de la formation, c'est la technologie, technologie générale et

en lycée professionnel, les sciences physiques ont une fonction de discipline de service par rapport à la technologie

technologie du domaine professionnel des élèves, qui est la “*discipline de formation*”.

L'enseignement scientifique, comme tout l'enseignement général, se doit de s'inscrire dans cette perspective de formation professionnelle : dans le domaine de la mécanique automobile sur lequel a porté l'étude, les élèves, pour être capables d'intervenir sur un véhicule, doivent en comprendre le fonctionnement, ce qui passe par la maîtrise de certaines connaissances scientifiques (Fortin et Vachon, 1994).

Actuellement, les relations entre sciences physiques et technologie sont envisagées en termes d’“*intégration*” de l'enseignement général à la formation professionnelle par le Ministère de l'Éducation Nationale (1999) ou de “*complémentarité*” par le Conseil National des Programmes (1991). Le document d'accompagnement du programme de sciences physiques fait référence à des “*capacités méthodologiques communes*” à plusieurs disciplines, décrites dans un document du Ministère de l'Éducation Nationale (1992). Mais les difficultés récurrentes rencontrées par les enseignants qui cherchent à faire le lien avec la formation professionnelle de leurs élèves montrent que le problème est plus complexe qu'il n'y paraît et mérite clarification.

Nous faisons l'hypothèse que les sciences physiques en lycée professionnel ont essentiellement une fonction de discipline de service par rapport à la technologie.

1.3. Les relations entre sciences physiques et technologie

Afin d'établir la pertinence de cette proposition, et d'en envisager les conséquences pour l'enseignement, nous avons étudié les relations existant entre les deux disciplines, par une analyse comparative des curriculums prescrits, en étudiant les instructions officielles des deux disciplines, et des curriculums “potentiels”, au travers de manuels scolaires.

un cas particulier : la mécanique en BEP Maintenance des Véhicules Automobiles

Pour réaliser ce travail, nous avons pris le cas d'un domaine professionnel particulier, la mécanique automobile, plus précisément la maintenance automobile, et d'un niveau scolaire, le BEP, qui correspond à une formation en deux ans à la sortie du collège. Nous nous sommes limité à un domaine de la physique, la mécanique, qui pouvait donner lieu à comparaison et exigeait articulation, étant enseigné à la fois en technologie et en sciences physiques.

La confrontation entre les deux disciplines a mis en évidence des complémentarités et des spécificités, tant dans les finalités, les discours sur les objets et les concepts que dans les compétences à développer.

1.4. L'élaboration d'une séquence d'apprentissage

La connaissance du domaine professionnel a également permis de concevoir un enseignement des sciences physiques

qui assume cette fonction de discipline de service, tout en conservant les finalités propres et les spécificités de la discipline, donc sa fonction d'ouverture.

Nous avons par ailleurs cherché à adapter nos propositions au public de lycée professionnel, et avons pour cela mené des entretiens auprès d'élèves entrant dans la filière, afin de repérer leurs représentations du concept à enseigner.

Nous avons élaboré, à titre d'exemple, une séquence d'apprentissage du concept de force qui a été mise en œuvre dans une classe de Terminale BEP Maintenance des Véhicules Automobiles, et a donné lieu à évaluation.

2. L'ANALYSE DES CURRICULUMS PRESCRITS

Le texte qui fixe les objectifs et les contenus de la formation en enseignement professionnel est le "*référentiel du diplôme*". Celui concernant le BEP Maintenance des Véhicules Automobiles, paru en 1990, se compose de deux parties, celle des "savoir-faire", correspondant à la partie pratique de l'enseignement, et celle des "savoirs technologiques associés", elle-même divisée en plusieurs sous-parties : "technologie", "analyse fonctionnelle et structurante", "mécanique", "génie électrique et génie automatique", "gestion".

comparaison
du référentiel
du diplôme
de technologie et
du programme de
sciences physiques

Pour les sciences physiques, le programme de BEP date de 1992. Il comporte une partie qui fixe les objectifs de l'enseignement et une partie "programme", divisée en plusieurs sous-parties : "matériaux et structure de la matière, métaux", "énergétique et électricité", "repos et mouvement".

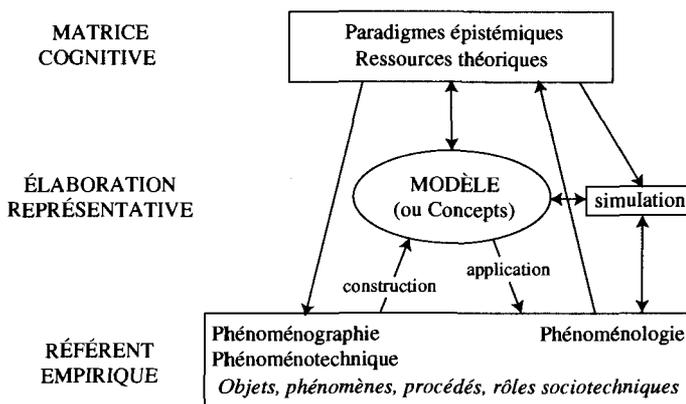
Nous avons comparé les parties "technologie" et "mécanique" du référentiel du diplôme de l'enseignement professionnel et les parties "objectifs" et "repos et mouvement" du programme de sciences, en nous référant au schéma de la modélisation à trois registres de Martinand (1996) (figure 1).

Ce schéma est en effet un outil permettant d'analyser à la fois les sciences physiques et la technologie. Il permet de caractériser, pour chacune des disciplines, les contenus des trois registres et d'étudier leurs articulations.

Le registre de la matrice cognitive comprend d'une part les "*paradigmes épistémiques*", c'est-à-dire les questions et les problèmes posés par la discipline, les "*bonnes pratiques*", et d'autre part les ressources théoriques (langages, schémas, théories) et informatiques dont elle dispose.

Le registre du référent empirique est celui des "*objets, des phénomènes et de leur connaissance phénoménographique*", c'est-à-dire les "*connaissances empiriques, partielles et certains savoirs et règles existant avant apprentissage*", ce qui prend une importance particulière pour des disciplines expérimentales.

Figure 1. Schéma de la modélisation (Martinand, 1996)



Le registre des modèles ou des concepts permet de répondre à des questionnements et des exigences qui n'ont pas de solution dans celui du référent empirique.

La formation ne consistant pas seulement en acquisition de connaissances, mais aussi de compétences, nous avons envisagé les relations entre les sciences physiques et l'enseignement professionnel sous cet aspect également. Nous avons alors pris comme corpus les objectifs du programme de sciences et la partie du référentiel du diplôme centré sur les savoir-faire.

2.1. Le curriculum de technologie

• Dans le registre de la matrice cognitive

D'après le référentiel de l'enseignement professionnel, "la technologie apporte les connaissances nécessaires à l'exécution des tâches professionnelles". Sont ainsi mis en avant d'une part l'aspect opérationnel de la formation et d'autre part la finalité de la technologie : apporter les connaissances permettant de saisir le sens de l'action, de l'orienter, de la réguler...

En ce qui concerne la partie "mécanique", c'est l'aspect compréhension qui est évidemment privilégié – il s'agit de "comprendre le comportement de tout ou partie du système technologique" – et qui permet de "justifier, chaque fois que cela est possible, les solutions technologiques retenues".

• Dans le registre du référent empirique

L'enseignement de la mécanique dans l'enseignement professionnel du domaine considéré est centré sur un type d'objets clairement identifiés : le véhicule automobile, ses systèmes et ses sous-systèmes.

la finalité de la technologie de l'automobile est "comprendre le fonctionnement des systèmes du véhicule automobile"

Les expressions utilisées dans le référentiel pour désigner ces objets sont “*systèmes technologiques*”, “*systèmes mécaniques*”, “*mécanismes*”, “*composants*”, “*éléments*”, ce qui renvoie à des objets liés entre eux ou à des parties de systèmes plus complexes.

Ces systèmes sont à étudier en fonctionnement, y compris dans des cas de dysfonctionnement, et de différents points de vue :

- structurel, quand il s’agit de “*localiser par ses frontières extérieures le système ou le composant dans son environnement*” et “*identifier [...] les éléments constitutifs*” ;
- fonctionnel : “*citer les caractéristiques fonctionnelles principales du système ou du composant*” ;
- lié au processus : “*énoncer les phases de fonctionnement et les identifier [...], la relation entre variable d’entrée et de sortie du système ou du composant [...], les principes ou lois physiques qui régissent le fonctionnement du système ou du composant*” ;
- législatif : “*énoncer la réglementation liée aux interventions*”.

• Dans le registre des modèles

Le concept central utilisé pour étudier un système mécanique est celui d’“*action mécanique*”. Il permet d’interpréter l’équilibre ou le mouvement d’objets susceptibles d’avoir un mouvement de translation et/ou de rotation par rapport à un axe, et recouvre en partie les concepts physiques de force et de moment d’une force par rapport à un axe. Il est à mettre en relation avec celui de “*liaison mécanique*”, qui étudie les différents types de liaisons existant entre deux éléments d’un système et permettant les deux types de mouvements.

Si la plupart des propriétés de l’action mécanique sont identiques à celles de la force ou du moment d’une force, l’une d’elles est spécifique à la technologie : sa “*transmissibilité au niveau d’une liaison mécanique*”. Cette propriété apparaît dans plusieurs passages des manuels de technologie de l’automobile – “*la force exercée sur la surface du piston est transmise à la crémaillère par une liaison mécanique*”, “*les pneumatiques doivent transmettre l’effort moteur et l’effort de freinage*”. Le discours en technologie est le suivant : pour une liaison entre un élément A et un élément B, une force (ou le moment d’une force) exercée par A sur B et qui a un effet sur B est transmissible au niveau de la liaison ; si elle n’a pas d’effet sur B, elle n’est pas transmissible au niveau de cette liaison.

2.2. Le curriculum de sciences physiques

• Dans le registre de la matrice cognitive

Au début du programme sont affichés les “objectifs” de l’enseignement des sciences physiques en BEP : “*faire acquérir des connaissances scientifiques et entraîner à leur utilisation pour résoudre des problèmes concrets, prédire ou interpréter des*

le concept central de la mécanique en technologie est l’“action mécanique”

phénomènes” d’une part, d’autre part “contribuer [...] à l’éducation méthodologique du lycéen”, en privilégiant “l’expérimentation associée à la réflexion théorique”. L’enseignement des sciences est donc d’abord centré sur des savoirs.

La suite du texte précise les méthodes à acquérir pour acquérir ces connaissances :

la finalité des sciences physiques en BEP consiste à “acquérir des connaissances et des méthodes...”

- “définir l’objet d’étude et les paramètres en jeu,
- formuler des hypothèses,
- proposer et réaliser un dispositif permettant de les valider,
- exploiter les données,
- énoncer une loi expérimentale et en donner les limites de validité,
- choisir et utiliser un modèle théorique”.

Cette énumération met en évidence l’option expérimentale affichée plus haut.

L’enseignement scientifique a également un aspect fonctionnel, quand il est question de l’*“utilisation des connaissances pour résoudre des problèmes concrets”*. Il est alors fait explicitement référence à la formation professionnelle des élèves : *“les élèves doivent trouver des réponses aux questions que pose la technologie, tant dans leur métier que dans leur vie professionnelle”*.

• Dans le registre du référent empirique

L’objet d’étude de la mécanique en sciences physiques est le “solide” (*“conditions d’équilibre d’un solide soumis [...]”, “cinématique du solide”*) ou un “fluide” dans le cas des forces pressantes.

Les expressions “un solide” ou “le solide”, “un fluide”, désignent un objet isolé, en interaction avec d’autres objets certes, mais qui ne s’intègre pas nécessairement dans un système et n’est pas composé – en tout cas ce n’est pas ce qui est considéré – de plusieurs éléments comme les systèmes mécaniques de la technologie.

Les termes “solide” et “fluide” renvoient par ailleurs à des objets idéalisés, dont la fonction d’usage n’est pas l’objet de l’étude. La seule caractéristique prise en compte est en effet leur rigidité ou leur fluidité. La phénoménographie est ainsi différente de celle de la technologie.

• Dans le registre des modèles

le concept central de la mécanique en sciences physiques au niveau BEP est la force

Le concept central de la mécanique, à ce niveau d’étude, est celui de force et, dans le cas d’un mouvement de rotation, de moment d’une force.

L’apprentissage du concept de force ne figure pas en tant que tel dans le programme de sciences physiques de BEP de 1992. Il est considéré comme un prérequis. Au programme figurent, dans une partie intitulée “repos et mouvement”, *“les conditions d’équilibre d’un solide soumis à trois forces non parallèles”, “le couple de forces”, “le moment d’une force”* et les *“forces pressantes”*. Concernant le “mouvement”, c’est la

cinématique du solide qui est étudiée. L'étude de la résistance des matériaux apparaît dans la partie "matériaux et structure de la matière".

La force est caractérisée par sa direction, son sens, son intensité et son point d'application, et représentée par un vecteur. Les propriétés étudiées en BEP sont la réciprocité et la composition-décomposition, et la relation avec la pression.

2.3. Les compétences

Nous avons mis en correspondance, dans le tableau ci-dessous (tableau 1), les capacités et les compétences exigées dans le référentiel du diplôme et dans le programme de sciences.

**Tableau 1. Les compétences exigées en technologie et en sciences physiques
BEP Maintenance des Véhicules Automobiles**

Compétences mentionnées dans le référentiel du diplôme	Compétences mentionnées dans les objectifs du programme de sciences
<p>C1. Communiquer</p> <p>S'informer, informer, dialoguer avec des spécialistes, des membres de l'équipe, des clients</p> <p>C2. Traiter, décider</p> <p>C22. Rechercher une méthode de travail et choisir les outillages et matériels nécessaires à l'intervention</p> <p>C24. Inventorier les anomalies possibles</p> <p>C25. Concevoir le processus de diagnostic</p> <p>C26. Réaliser le diagnostic</p> <p>C3. Réaliser</p> <p>C33. Régler des sous ensembles</p> <p>C4. Évaluer</p> <p>Évaluer son travail, l'état d'un système</p>	<p>Définir l'objet d'étude</p> <p>Inventorier les paramètres dont dépend le phénomène</p> <p>Formuler des hypothèses</p> <p>Choisir le mode de saisie et d'exploitation des données à recueillir</p> <p>Énoncer une loi expérimentale</p> <p>Choisir et utiliser un modèle théorique</p> <p>Proposer et réaliser un dispositif expérimental ayant pour fonction de tester la validité d'une hypothèse</p>

Les différences apparaissent dans le choix et l'ordre des compétences à développer. Dans l'enseignement professionnel, ce sont les capacités "traiter-décider" et "réaliser" qui ont le plus d'importance, car liées à l'intervention sur le véhicule. Dans l'enseignement scientifique, il s'agit plutôt d'une démarche de construction puis d'utilisation des savoirs, ce qui est cohérent avec les finalités de la discipline.

2.4. L'articulation entre les disciplines

Les deux enseignements visent l'acquisition de connaissances et de compétences, mais ils le font avec des finalités propres, des points de vue différents sur les objets et, en conséquence, en utilisant des concepts spécifiques et en privilégiant des compétences différentes.

spécificités et synergies dans les compétences exigées en technologie et en sciences physiques

Pourtant, l'analyse que nous avons menée montre qu'il est possible d'envisager des complémentarités ou des synergies en ce qui concerne :

- les finalités, dans la mesure où la technologie fait référence à la physique et utilise certains savoirs enseignés en sciences physiques ;
- les objets, car l'approche scientifique peut être envisagée comme l'une des composantes de l'approche technologique ;
- les concepts, car le concept d'action mécanique recouvre en partie celui de force et de moment d'une force. La seule spécificité de la technologie est la propriété de transmission d'une force à travers une liaison mécanique. La technologie fait par ailleurs référence aux lois de la physique : une des compétences exigées est *"identifier et utiliser les principes et les lois physiques qui régissent le fonctionnement d'un système ou d'un composant"* ;
- les compétences, car la recherche de paramètres influant sur un phénomène et l'émission d'hypothèses suivie d'une validation expérimentale peuvent être comparées à la démarche de diagnostic de panne, exigée en maintenance automobile.

considérer les sciences physiques en lycée professionnel comme une discipline de service par rapport à la technologie est légitime

En conclusion, dans la mesure où la technologie utilise certains savoirs qui sont enseignés en sciences physiques, et exige certaines compétences convergentes avec celles développées en sciences, l'enseignement scientifique peut effectivement contribuer à la formation technologique et professionnelle des élèves. Considérer les sciences physiques comme une discipline de service par rapport à la technologie paraît donc légitime.

3. L'ANALYSE DES CURRICULUMS POTENTIELS

3.1. Au travers d'un manuel de technologie de l'automobile

Nous avons systématiquement relevé dans un manuel de technologie de l'automobile (Mémeteau, 1997) les passages et

schémas où étaient mentionnés le terme "force" ou des termes équivalents, afin de recueillir des données concernant l'utilisation faite du concept dans ce domaine professionnel.

• Le référent empirique

Il est constitué d'objets liés au véhicule automobile : le véhicule automobile dans son ensemble, ses systèmes techniques ou des éléments de ces systèmes, ou encore des objets extérieurs (sol, air extérieur). Ces objets peuvent être :

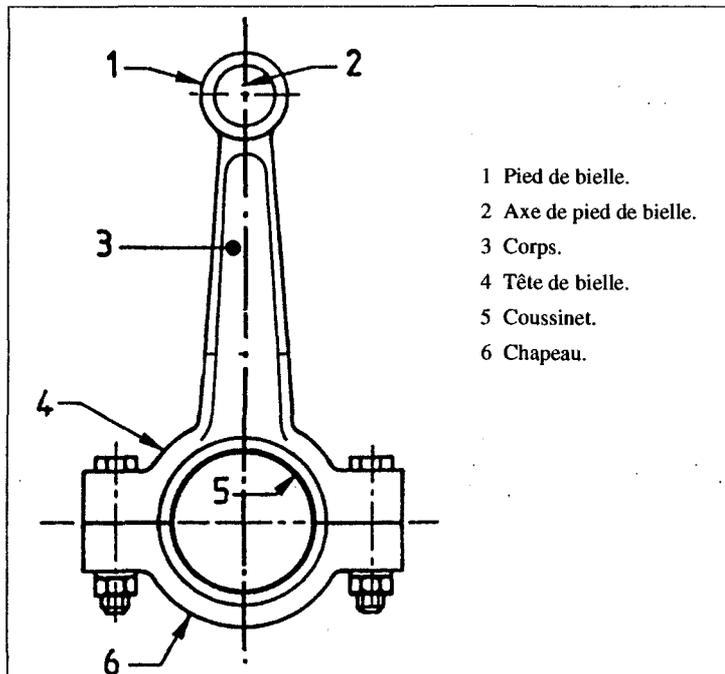
le référent empirique en technologie est constitué par les systèmes du véhicule...

- rigides, dans le système piston-bielle-vilebrequin, les disques d'embrayage, les boîtes de vitesses et l'interaction véhicule-sol ;
- liquides, l'eau des systèmes hydrauliques, l'huile pour graisser certains éléments ;
- gazeux, le mélange air-essence, l'air dans les systèmes hydropneumatiques ou les pneumatiques, l'air extérieur au véhicule.

... en fonctionnement ou en dysfonctionnement

Concernant la phénoménographie, les objets sont étudiés dans leur fonctionnement réel, en envisageant également les cas de dysfonctionnement (le phénomène du "coulage de bielle" est ainsi abordé dans l'étude de la bielle), les éléments sont désignés de façon détaillée ainsi que leurs parties. Les schémas représentant les objets sont aux normes du dessin technique (figure 2).

Figure 2. Schéma de la bielle (Mémeteau, 1997)



Les phénomènes à propos desquels la force est mentionnée sont les suivants :

- des équilibres ou des mises en mouvement qui concernent, dans la plupart des cas, des objets soumis à deux forces. Par exemple : *“le tiroir pilote T1 est soumis à l'action de deux forces opposées...”*. Les phénomènes de frottement ont une importance particulière : utiles et qu'il convient de favoriser dans le cas de l'embrayage, des pneumatiques ou du freinage ; inconvénients quand ils s'opposent au fonctionnement désiré, dans les éléments mobiles du moteur par exemple ;
- des déformations : la compression et l'extension ; la torsion ; la flexion ; le cisaillement ; la déformation d'objets (ressort et pneumatiques) ;
- des mouvements, de translation uniforme ou accélérée (véhicule sur une route, piston dans le cylindre) ; de rotation (à propos des boîtes de vitesse).

• **Le concept de force**

Comme dans tous les manuels de technologie de l'automobile, c'est le concept de force qui est utilisé et non celui d'action mécanique.

La nature vectorielle de la force apparaît dans le texte et dans les schémas, et les propriétés utilisées sont la composition-décomposition, à propos du couple moteur ou du châssis-carrosserie, et la transmission de forces au niveau d'une liaison mécanique, à propos du piston, de la bielle, de l'embrayage, des boîtes de vitesse, de la direction, des pneumatiques et des freins.

Concernant les codes symboliques, les termes désignant le concept sont essentiellement “force” et “action” ; “effort” dans le cas d'une contrainte et en relation avec une déformation ; “résistance” dans le cas de “résistance au glissement ou frottement”, des “résistances mécaniques” ou de la “résistance de l'air” à propos du freinage.

La représentation graphique des forces n'est pas homogène dans les différents schémas du manuel, l'extrémité du vecteur étant parfois placée à l'endroit du point d'application de la force. La représentation évoque dans certains schémas une idée d'entrée et de sortie (figure 3).

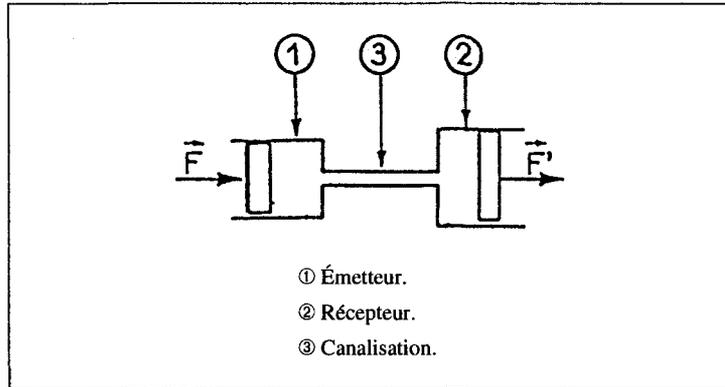
• **Les forces particulières et les relations entre grandeurs**

Les forces mentionnées dans le manuel sont :

- le poids, et son point d'application, le centre de gravité ;
- la force centrifuge, mentionnée à propos de l'équilibre du vilebrequin, du fonctionnement de l'embrayage et des pneumatiques ;
- la force de frottement, qualifiée de “frottement ou résistance au glissement” quand la force s'oppose au mouvement, ou de “force d'adhérence”, quand la force provoque la mise en mouvement de l'objet ;

une propriété de la force spécifique à la technologie est sa transmission au niveau d'une liaison mécanique

Figure 3. Principe de "transmission de la force" dans un circuit hydraulique (Mémeteau, 1997)



- les forces pressantes, quand l'interaction concerne des solides (le terme pression étant utilisé exclusivement dans le cas de fluides) ;
- la traînée, la dérive et la portance, projections des forces exercées sur le châssis d'un véhicule par le vent sur trois axes : "un véhicule dans le vent est soumis à trois forces, qui sont : la traînée (F_x), la dérive (F_y) et la portance (F_z). On en calcule les moments par rapport aux axes X, Y, Z. Ces moments produisent pour la traînée, le roulis, pour la dérive, le tangage, pour la portance, le lacet" ;
- la force "motrice", désignée comme la cause de la mise en mouvement du véhicule.

Les relations utilisées sont :

- la relation entre poids et masse,
- la relation $F = M \omega^2 R$,
- la relation entre force et pression,
- le moment d'une force, qualifié de "couple", moteur ou résistant,
- la relation entre force et travail.

3.2. La contribution actuelle de l'enseignement de sciences physiques

L'enseignement actuel, tel qu'il apparaît au travers des manuels scolaires, est souvent soit en décalage soit en deçà des besoins de la technologie.

l'enseignement
actuel des
sciences physiques
est en décalage
par rapport
aux besoins
de la technologie

Dans le registre du référent empirique, les objets sont généralement rigides, sauf dans l'étude des forces pressantes. Conformément au programme, les phénomènes étudiés sont des équilibres de solides susceptibles de mouvement de translation (objet soumis à trois forces) puis de rotation, et des déformations.

Dans le registre des modèles, les conditions d'équilibre d'un objet sont traitées par la somme vectorielle des forces, qualifiée de "*dynamique des forces*", de "*triangle des forces*" ou de "*polygone des forces*" selon les manuels, et la composition n'apparaît que dans un seul ouvrage. Tous les manuels n'étudient pas la résistance des matériaux, le programme de sciences se limitant à l'étude de courbes de déformation.

4. LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

4.1. Méthode utilisée

Nous avons interrogé huit élèves entrant en BEP Maintenance des Véhicules Automobiles, âgés de 15 à 17 ans, et choisis selon des critères de parcours scolaires antérieurs : deux venaient de 3^e collège, deux de 3^e technologique, deux d'un BEP d'une autre spécialité (BEP électrotechnique et BEP chauffeur-poids lourds), un de CAP (CAP mécanique générale) et un de 3^e d'insertion.

Parmi ces élèves, sept avaient déjà étudié les forces dans leur cursus antérieur, dont un en technologie, et le dernier n'avait pas eu d'enseignement de sciences physiques.

Nous avons mené des entretiens semi-directifs, en interrogeant les élèves sur les exemples qu'ils avaient étudiés, et sur la description de phénomènes d'équilibres ou de mouvements, d'objets divers tout d'abord, puis de systèmes du véhicule automobile.

4.2. Le référent empirique

Les exemples proposés par les sept élèves ayant déjà reçu un enseignement de mécanique sont très divers, tant par les objets en jeu que par les problèmes posés :

- des déplacements d'objets (aimant attirant des morceaux de fer, règle attirant des morceaux de papier, bras poussant un carton, grue déplaçant une plaque de béton, sacs portés ou soulevés par un homme) ;
- l'efficacité de certains systèmes (camion sur une route en pente et dans un virage ; utilisation d'un marteau, d'une perceuse ou d'une boîte de vitesse ; levage d'un seau dans un puits avec ou sans poulie) ;
- des problèmes d'équilibre (boule suspendue à un fil, ballon en l'air puis sur le sol, pneu sur le sol, une montgolfière ou des ballons qui "volent", une personne appuyée contre un mur).

Il n'existe donc pas de référent empirique commun pour le concept de force chez ces élèves.

De plus, ils ont tendance à faire référence à des objets en mouvement ou pour lesquels il y a alternance entre mouvement et immobilité. L'équilibre d'un objet apparaît plutôt comme une situation particulière et/ou transitoire.

les exemples
proposés par les
élèves sont très
divers, les objets
sont surtout en
mouvement

4.3. Représentations de phénomènes où l'objet est en mouvement

Seuls deux élèves, même après enseignement, considèrent la force comme une interaction entre des objets. Ils utilisent l'expression "*force de... sur...*", et mentionnent plus ou moins explicitement selon les problèmes les objets en jeu.

Pour les autres, les discours sont fluctuants selon les descriptions.

La force apparaît le plus souvent comme une propriété de l'objet, difficulté déjà mise en évidence par Khraibani-Mounayar (1984). Les expressions utilisées sont alors "*la force de...*", l'objet "*a de la force*", ou encore "*la force (de l'objet) qui (provoque le mouvement)*".

La relation forte qu'ils établissent entre force et mouvement amène la moitié des élèves à faire dépendre directement la force du mouvement de l'objet, tendance repérée par Viennot (1977) : "*la voiture est arrêtée, elle ne fait plus rien, elle ne bouge plus. Il n'y a pas de force.*"

Pour quatre élèves, c'est la force qui provoque le mouvement : "*la force qui prend la plaque et la monte...*".

Enfin, deux élèves considèrent la force comme une énergie : "*une fois qu'on a le poids de la balle, avec la vitesse et la hauteur, on peut calculer quelle force elle aura quand elle sera au sol*".

Le discours de l'élève qui n'a pas étudié de mécanique indique néanmoins qu'une description en termes d'objets qui agissent sur l'objet d'étude (Lemeignan et Weil-Barais, 1993) est disponible avant enseignement : "*le piston descend... c'est la bielle qui le fait descendre*".

très peu d'élèves considèrent la force comme une interaction, même après enseignement au collège

4.4. Représentations de phénomènes d'équilibre

Les fluctuations des élèves sont encore plus grandes dans la description de phénomènes d'équilibre.

Le principal obstacle est la représentation qu'ils se font du poids d'un objet (Lemeignan et Weil-Barais, 1994). Un seul élève envisage qu'il s'agit d'une interaction avec la Terre. Les autres le considèrent comme une propriété de l'objet, assimilable à sa masse : "*si le poids augmente, ça attire plus*", ou utilisent le terme dans une explication tautologique de la chute des objets : "*à cause de son poids, la boule tombe*".

Par ailleurs, les deux élèves qui décrivent des situations où l'objet "*vole*" concluent que la Terre n'agit pas. L'universalité de la gravitation n'est donc pas acquise pour eux.

Dans le cas d'un objet suspendu, tous les élèves reconnaissent une force dirigée vers le bas, qu'ils mettent en relation avec la chute des objets ou la tension du fil, mais la moitié d'entre eux n'envisage pas d'autre force.

Quand les objets sont posés sur le sol, les élèves ont deux types d'explications :

pour la moitié des élèves, dans l'équilibre d'un objet suspendu ou posé sur le sol n'intervient qu'une force dirigée vers le bas

- la moitié explique que le sol retient, maintient, et ils font intervenir deux forces ;
- l'autre moitié affirme que le sol arrête la chute et ils ne considèrent qu'une seule force.

Deux élèves, au nom de la cohérence avec des problèmes étudiés précédemment et avec la condition d'équilibre qu'ils ont énoncée, reviennent sur leur première description et font intervenir deux forces.

L'élève qui n'a pas étudié de mécanique exprime spontanément la condition d'équilibre, à propos de plusieurs exemples : *"si l'un tire dans un sens et moi dans l'autre, on a la même force tous les deux. Si ma force est plus puissante, le fil vient vers moi."*

4.5. Influence d'une formation technologique

Les entretiens menés confirment les tendances déjà repérées dans des recherches antérieures, mais portant sur des publics différents, et montrent la nécessité d'un apprentissage du concept de force en BEP, qui mette l'accent sur l'interaction entre les objets.

Ils mettent également en évidence les connaissances technologiques dont font preuve les élèves dans leurs descriptions des systèmes du véhicule automobile et de leur fonctionnement, et qui peuvent servir de point d'appui pour l'enseignement.

En revanche, des problèmes rencontrés dans le domaine professionnel des élèves peuvent parasiter leur lecture de certains phénomènes : ainsi, l'argument d'adhérence, qui permet de justifier qu'il n'y a qu'une force dans le cas d'un objet posé sur le sol : *"c'est le poids qui la maintient au sol. S'il n'y avait plus cette force, elle volerait."*

l'enseignement des sciences physiques peut s'appuyer sur les connaissances technologiques des élèves

5. PROPOSITION DE SÉQUENCE D'APPRENTISSAGE DU CONCEPT DE FORCE

La connaissance de ce qui est utilisé en technologie et les résultats des entretiens ont permis de faire des choix, portant à la fois sur des savoirs et sur des stratégies pédagogiques.

5.1. Les savoirs

Pour répondre au besoin de reconnaître et d'utiliser l'une ou l'autre des propriétés d'un concept face à un problème technique donné, il est nécessaire de rompre avec le découpage traditionnel des domaines de connaissances de la physique, et d'envisager un apprentissage dans lequel sont étudiés dans une unité cohérente les différents aspects du concept de force (statique, dynamique, résistance des matériaux), qui sont classiquement étudiés à des moments séparés du curriculum.

il est nécessaire de rompre avec le découpage traditionnel de l'enseignement du concept de force

• **Le référent empirique choisi**

Concernant les interactions, nous avons choisi des exemples où les objets sont des solides ou des ensembles de solides, mais aussi des liquides et des gaz, et n'avons pas, dans un premier temps, fait de séparation entre des objets en équilibre et en mouvement, les systèmes d'un véhicule pouvant le plus souvent se trouver dans les deux situations.

Nous avons pris comme référent empirique des exemples de la vie courante, mais surtout des systèmes techniques appartenant au véhicule automobile et mettant en jeu un problème technique à résoudre. Nous avons désigné les objets par leur nom d'usage, ceux utilisés en technologie de l'automobile.

Nous avons choisi d'étudier en particulier deux types de phénomènes importants dans ce domaine professionnel : ceux qui mettent en jeu des fluides et font intervenir des forces pressantes, et les phénomènes de frottement.

• **Les propriétés et relations étudiées**

Nous avons borné l'étude d'équilibres ou de mises en mouvement à des objets soumis à deux forces, le cas d'objets soumis à trois forces ayant peu d'applications dans ce domaine technologique et pouvant se résoudre par la décomposition des forces selon deux directions. Mais nous avons consacré une leçon à la propriété de composition-décomposition.

Nous avons limité l'étude de la dynamique à la relation entre la force exercée sur un objet et le type de mouvement de cet objet, sans traiter la relation fondamentale de la dynamique de façon exhaustive.

Enfin, nous n'avons pas étudié le concept d'énergie en tant que tel, mais avons uniquement abordé la relation entre force et déplacement d'un objet dans le but de définir le travail, puisque la force intervient directement dans sa définition, en suggérant la possibilité d'élargir l'étude à un concept plus complet.

sont privilégiées
dans la séquence
les propriétés
utilisées en
technologie

La propriété de transmission des forces au niveau d'une liaison ne pouvant faire l'objet d'un compromis avec les propriétés du concept physique, nous avons présenté en parallèle, à titre d'information, dans la leçon traitant des forces réciproques, la logique et le discours de la technologie et des sciences physiques.

En sciences physiques, en mécanique, tous les objets sont considérés de la même façon, ce sont des objets d'étude. La mécanique permet d'étudier l'équilibre ou le mouvement de ces objets en fonction des autres objets en interaction avec eux. La force permet de décrire ce qui se passe entre deux objets, force exercée par l'un des objets sur l'autre.

En technologie, il s'agit souvent d'étudier le fonctionnement de systèmes comprenant plusieurs éléments. Les différents éléments ont une fonction dans ce fonctionnement. En mécanique, un des problèmes qui se pose est la conséquence pour

un élément (d'arrivée) des mouvements d'un autre élément (de départ). Les éléments situés entre les deux ont une fonction de transmission. En technologie, on parle de forces qui se transmettent d'un élément à un autre.

• **Les codes symboliques utilisés**

sont choisis des termes ne prêtant pas à confusion avec ceux utilisés en technologie

Nous avons préféré, pour désigner les objets en interaction, le terme "objet" plutôt que celui de "système" parfois utilisé en physique. En effet, ce dernier terme peut prêter à confusion, les systèmes techniques désignant en technologie des ensembles composés de plusieurs éléments.

Le terme "solide", rencontré dans les manuels de sciences physiques, ne convient pas non plus puisque nous proposons des phénomènes dans lesquels interagissent non seulement des parties solides, mais aussi des liquides et des gaz.

Nous n'avons pas utilisé le terme "action de... sur..." rencontré couramment dans les manuels de sciences physiques de BEP. En effet, nous ne voulions pas entretenir d'ambiguïté avec le concept d'action mécanique de la technologie.

Nous avons discuté des expressions utilisées en technologie – couple moteur, force motrice, adhérence et force centrifuge –, à l'occasion des leçons portant respectivement sur le moment d'une force, les forces de frottement et le mouvement de rotation.

5.2. Le découpage de la séquence

La séquence d'enseignement que nous avons proposée se compose de différentes parties.

• **Étude de l'immobilité ou de la mise en mouvement d'objets (translation)**

Leçon 1 : *Description de phénomènes où un objet est immobile ou mis en mouvement*

Leçon 2 : *Force d'un objet sur un autre*

• **Propriétés de la grandeur**

Leçon 3 : *L'intensité d'une force*

Leçon 4 : *Composition et décomposition d'une force*

Leçon 5 : *Où s'exercent les forces ?*

Leçon 6 : *Principe des actions réciproques*

• **Étude de forces particulières**

Leçon 7 : *Les forces de frottement*

Leçon 8 : *Les forces pressantes*

• **Étude de l'immobilité ou de la mise en mouvement d'objets (rotation)**

Leçon 9 : Équilibre d'un objet pouvant tourner autour d'un axe

• **Effet d'une force sur le comportement d'un objet**

Leçon 10 : Comportement d'un objet soumis à des forces dans un mouvement de translation

Leçon 11 : Comportement d'un objet soumis à des forces dans un mouvement de rotation

Leçon 12 : Déformation d'un objet soumis à des forces

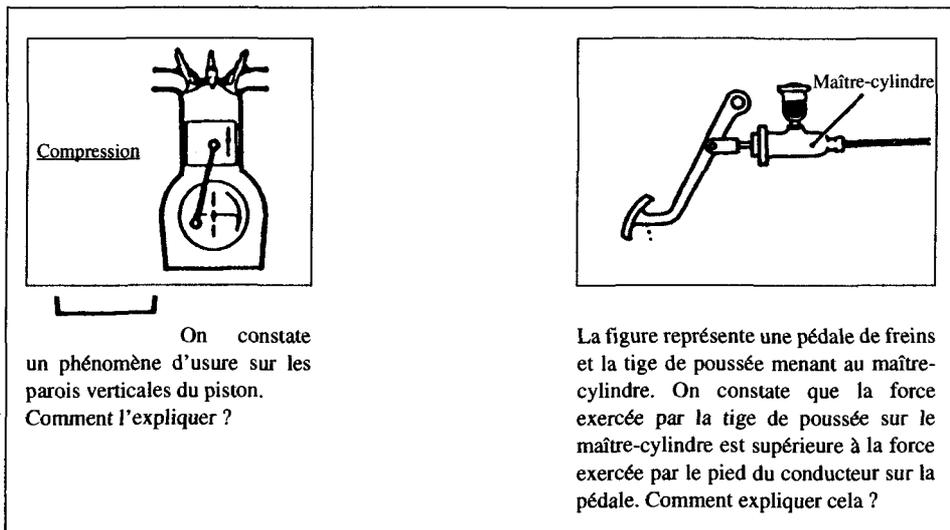
• **Travail d'une force**

Leçon 13 : Travail mécanique

5.3. Les stratégies pédagogiques

Le choix de faire autant que possible référence à la technologie, afin de donner du sens à l'apprentissage, de nous appuyer sur les connaissances technologiques des élèves et de favoriser le transfert des connaissances scientifiques dans des situations professionnelles, a conduit à faire débiter systématiquement les leçons par un problème technique appartenant au domaine professionnel des élèves (figure 4).

Figure 4. Problèmes techniques introduisant les leçons sur la décomposition d'une force et l'étude des phénomènes de rotation



Afin de mettre l'accent sur l'interaction entre les objets, nous avons proposé tout au long de la séquence différents niveaux de lecture de phénomènes d'immobilité ou de mise en mouvement, suivant Lemeignan et Weil-Barais (1993) : "*Que se passe-t-il ? Qu'est-ce qui agit sur... ?*", puis, en utilisant un langage plus conceptuel, "*Quelles sont les forces exercées sur... ? Quelles sont les caractéristiques de ces forces ?*".

Parmi les compétences à développer en sciences physiques, nous avons privilégié celles qui peuvent donner lieu à synergie avec celles exigées dans le domaine professionnel considéré : dans le champ de la maintenance, la recherche des paramètres influant sur un phénomène et de l'émission d'hypothèses suivie de validation expérimentale, en synergie possible avec la méthodologie de diagnostic de panne.

les compétences privilégiées sont la recherche de paramètres influant sur un phénomène et l'émission d'hypothèses suivie d'une validation expérimentale

La quasi-totalité des leçons a comporté une phase expérimentale où nous avons fait manipuler les élèves, et où nous leur avons systématiquement proposé de rechercher les paramètres influant sur le phénomène étudié, et d'émettre des hypothèses puis de les valider expérimentalement.

Ces choix nous ont conduit à donner aux leçons la structure suivante :

- problème technique, issu du domaine professionnel ;
- problème scientifique, introduit par une classe de phénomènes et un questionnement, puis formulation d'une hypothèse, portant sur l'influence des paramètres ou des relations entre grandeurs ;
- phase expérimentale, permettant de valider ou d'invalidier l'hypothèse formulée ;
- structuration, consistant en l'élaboration d'une loi ou d'une propriété du concept ;
- utilisation du modèle pour résoudre le problème technique et d'autres problèmes.

Cette structure rejoint la méthode "hypothético-construc-tive" proposée par Scache (1986) pour l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel.

5.4. Un exemple de leçon : les forces de frottement

La leçon débute par le problème technique du démarrage d'un véhicule : "*Comment un véhicule peut-il commencer à avancer sur une route ? Pourquoi est-il plus difficile de démarrer sur une route verglacée ?*"

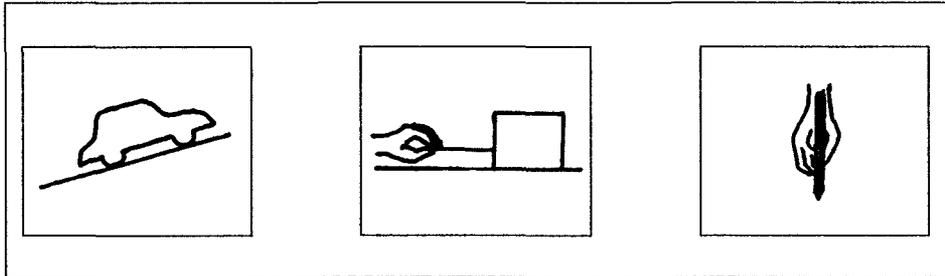
Différents problèmes sont ensuite étudiés : une voiture arrêtée sur une route en pente, un bloc de fonte tiré par une ficelle tenue à la main, un stylo tenu entre deux doigts (figure 5).

Le même type de questionnement est proposé :

- "*Qu'est-ce qui agit sur l'objet d'étude (voiture, bloc de fonte, stylo) ?*"

- "*Quelle est la condition d'équilibre de l'objet d'étude ?*"

Figure 5. Problèmes qui mettent en jeu des phénomènes de frottement



–“*Quelles sont les caractéristiques des forces exercées sur l'objet d'étude ?*”

–“*À quelles conditions l'objet peut-il être mis en mouvement ?*”

–“*Quel serait alors son mouvement ?*”

Les trois premières questions donnent l'occasion de discuter des représentations des élèves, les difficultés rencontrées pouvant être d'ordre technologique – quand un élève explique que la voiture est arrêtée “à cause du frein à main”, la considération d'un sol verglacé, pour lequel le frein à main peut ne pas suffire, convainc alors l'élève de l'importance du sol –, ou d'ordre scientifique – quand l'obligation de respecter la condition d'équilibre amène à envisager une composante de la force exercée par le support parallèle au support.

les conditions d'équilibre d'un objet permettent d'étudier les caractéristiques des forces de frottement

La synthèse des réponses permet au professeur d'introduire les phénomènes de frottement et les forces de frottement, d'évoquer succinctement à ce niveau d'étude la différence entre frottement statique et frottement dynamique, et de définir la force de frottement statique limite, objet de la phase suivante de la leçon.

La tâche suivante consiste en effet à faire des hypothèses quant aux paramètres influant sur la force de frottement statique limite, puis de les valider expérimentalement.

Les élèves proposent comme paramètres :

- le poids de l'objet, utilisant ce terme ou encore “*la matière*” de l'objet ;
- les dimensions de la surface de contact, utilisant les expressions “*le support de l'objet*”, “*la surface de contact*” ;
- la nature du contact, dans des formulations comme “*si le sol est glissant*”, “*si la surface est plate*”, “*la peinture du support*”.

Un matériel d'expérimentation étant proposé (plusieurs parallélépipèdes de différentes dimensions et de différentes matières, des masses marquées, différents supports, un

propositions
d'expérimentations
permettant
d'étudier
l'influence
de différents
paramètres sur
l'intensité
de la force
de frottement

dynamomètre), les élèves proposent, par groupe, des expérimentations permettant de valider ou non l'une des trois hypothèses.

Après la synthèse des expérimentations, les différents problèmes étudiés au début de la leçon sont repris. Un questionnement permet de comparer le sens du mouvement possible de l'objet et le sens de la composante de la force de frottement parallèle au support, et de conclure que les forces de frottement s'opposent au mouvement possible de l'objet.

D'autres problèmes sont envisagés, où la force de frottement est la force qui permet la mise en mouvement de l'objet : un homme qui marche, une voiture qui démarre. Il est alors possible de discuter des problèmes techniques posés au début de la leçon.

Ainsi, si la référence au domaine professionnel est présente, par les problèmes techniques discutés et les stratégies pédagogiques proposées, il s'agit bien d'une leçon de sciences physiques, centrée sur un phénomène à interpréter à l'aide de concepts, avec pour tâches l'étude de l'équilibre d'objets, la recherche des paramètres dont dépend le phénomène et l'étude de l'influence de ces paramètres, et avec pour méthodes l'émission d'hypothèses et leur validation expérimentale.

6. DISCUSSION

6.1. L'évaluation de la séquence

Nous avons utilisé différents dispositifs d'évaluation de la séquence :

- avant les leçons, un test constitué de différents problèmes rencontrés en mécanique automobile et de questions portant sur l'explication des phénomènes en jeu ;
- après les leçons, d'une part un test reprenant les problèmes posés avant enseignement, et d'autre part des entretiens avec des élèves, quelques mois après les leçons.

Quatorze élèves ont répondu à la fois aux tests avant et après enseignement, et nous avons interrogé huit élèves à la suite de la séquence.

La référence à leur domaine professionnel a été perçue et appréciée par les élèves, en particulier en ce qui concerne les stratégies pédagogiques proposées. Tous les élèves dans les entretiens après passation évoquent le problème technique posé au début des leçons – *“c'est notre domaine, ça nous attire beaucoup plus”* – et la moitié mentionne le lien entre la recherche des paramètres influents et l'émission d'hypothèse suivie d'une validation expérimentale, et la démarche de diagnostic de panne – *“c'est ça qu'on nous a appris à faire en physique, une démarche de diagnostic”*.

les élèves ont perçu
les liens entre
la séquence de
sciences physiques
et la technologie

Ils expriment à la fois la différence et la solidarité entre ce qu'ils ont étudié en sciences physiques et l'enseignement professionnel : en sciences "on *explique*", on "*montre*", on "*fait des expériences*", alors qu'en technologie on "*donne les forces*", on "*voit juste la théorie*", on "*doit appliquer*". Ils concluent majoritairement (6 élèves sur 8) que les séquences ont constitué une aide pour leur formation technologique, ainsi "*si on le sait déjà, ça va avancer les choses. Ce qu'on a fait en sciences, quand on arrive en techno, on passe directement au sujet et on ne perd pas de temps. Sinon les professeurs doivent nous expliquer alors qu'on doit faire autre chose.*"

Les différences que les élèves mentionnent portent essentiellement sur les codes symboliques, le vocabulaire (4 élèves) – "*les questions n'étaient pas formulées pareil, c'était des mots plus simplifiés*" –, les symboles (4 élèves) – "*en sciences on faisait une flèche comme ça (à l'intérieur de l'objet) et en dessin industriel on faisait des flèches à l'extérieur de l'objet*".

Les élèves ont progressé dans leur représentation des phénomènes en jeu dans le véhicule automobile.

Ils mentionnent, au cours des entretiens après passation, de nombreux objets où interviennent des forces et mettent en relation des forces et des phénomènes, en particulier le déplacement d'une voiture avec les forces exercées sur elle (4 élèves), le démarrage ou le freinage d'une voiture avec la réaction du sol (3 élèves). Certains problèmes évoqués n'ont pas été étudiés dans les séquences, ils sont donc capables de transférer leur lecture des phénomènes à d'autres systèmes techniques.

les élèves ont progressé dans la description qualitative des phénomènes en jeu dans le véhicule automobile

Six élèves décrivent le fonctionnement de systèmes qui mettent en jeu le principe du levier et la "démultiplication" des forces (système de freinage par exemple), ou de systèmes hydrauliques et hydropneumatiques en utilisant la relation entre force et pression.

À propos du comportement d'une voiture sur une route (d'abord arrêtée sur une route en pente, puis roulant à vitesse constante et enfin freinant sur une route horizontale) étudié dans les tests, ils mentionnaient massivement (respectivement 10, 4 et 11 réponses) les freins ou l'accélérateur dans le test initial, une partie (respectivement 6, 5, 7 réponses) évoque les frottements dans le test final. Un élève exprime ainsi son changement de représentation : "*à propos du démarrage d'une voiture, j'ai compris que c'était grâce au sol que la voiture peut démarrer, sinon il n'y aurait pas de mouvement*".

Les résultats sont moins satisfaisants en ce qui concerne la résolution quantitative de problèmes : les réponses aux tests montrent que, sauf dans les problèmes les plus simples – équilibre d'un objet soumis à deux forces –, les élèves ne parviennent pas au bout des exercices et ne

peuvent donc pas résoudre le problème technique en jeu. Ils éprouvent des difficultés dans la reconnaissance du phénomène, dans l'utilisation de connaissances mathématiques et d'un langage conceptuel (vocabulaire précis, représentations graphiques de forces).

6.2. La pertinence de nos choix

Les évaluations réalisées permettent d'affirmer que la séquence a effectivement apporté une contribution à la formation technologique des élèves, puisqu'ils sont capables d'utiliser et de transférer leurs connaissances pour décrire qualitativement des phénomènes en jeu dans le véhicule automobile. Les stratégies pédagogiques proposées sont d'une part une source de motivation pour les élèves, d'autre part une aide pour leur formation professionnelle.

la séquence a
effectivement
apporté
une contribution
à la formation
technologique
des élèves

Considérer les sciences physiques en lycée professionnel dans leur fonction de discipline de service par rapport à la technologie est donc non seulement légitime stratégiquement mais encore réaliste pratiquement.

La démarche de confrontation avec la technologie que nous avons suivie à propos du concept de force a été réalisée également pour le concept de pression et a donné lieu aux mêmes types de conclusions et de choix. Nous faisons l'hypothèse que cette démarche peut se généraliser pour d'autres domaines professionnels, d'autres niveaux d'étude et d'autres concepts, ce qui demanderait à être vérifié dans des recherches ultérieures. Il paraît en effet raisonnable d'envisager que pour d'autres domaines professionnels, les objets et problèmes techniques en jeu nécessiteront de privilégier des aspects et des propriétés des concepts différents, et d'autres compétences. Par exemple, dans le domaine de l'électricité, il serait nécessaire d'étudier la force électromagnétique dans la séquence, et, dans les champs de la production, ce seraient plutôt les compétences liées à des réalisations qui se rapprocheraient de la formation technologique des élèves.

Béatrice JOUIN
Lycée Professionnel J.-P. Timbaud – Aubervilliers
IUFM de Créteil

BIBLIOGRAPHIE

CONSEIL NATIONAL DES PROGRAMMES (1991). *Propositions sur l'évolution du lycée*. Ministère de l'Éducation Nationale.

DEFORGE, Y. (1991). Enseignement technique, enseignement professionnel, enseignement technologique : essai d'élucidation de ces trois titres. In J. Perrin. *Construire une science des techniques* (pp. 399-406).

FORTIN, M. & VACHON, J.-C. (1994). Développement de la compétence à résoudre des problèmes sur les nouvelles technologies de l'automobile. *Didaskalia*, 4, 99-106.

HOWSON, A.G. & KAHANE J.-P. (1988). *Maths as a service subject*. ICMI Study Series. Cambridge : Cambridge University Press.

JOUIN, B. (2000). *Problèmes de l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel, dans sa fonction de discipline de service par rapport à la technologie, dans le domaine de la mécanique automobile*. Thèse de doctorat, ENS Cachan.

KHRAIBANI-MOUNAYAR, S. (1984). *Registres d'interprétation des élèves et des professeurs de collège dans le domaine de la mécanique*. Thèse de 3^e cycle de didactique des sciences physiques, Université Paris 7.

LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.

LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1994). Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. In J.-L. Martinand (Éd.). *Nouveaux regards sur l'enseignement et sur l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 85-114). Paris : INRP.

MARTINAND, J.-L. (1992). Enjeux et ressources de l'éducation scientifique. Introduction au thème. In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds). *Actes des XIV^e journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et techniques* (pp. 57-65). Cachan : DIRES.

MARTINAND, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. In *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques. Cachan 1994-95*. Paris : LIREST.

MEMETEAU, H. (1997). *Technologie fonctionnelle de l'automobile*. Tomes 1 et 2. Paris : Dunod.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Les capacités méthodologiques communes*.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1999). *Un lycée pour le XXI^e siècle*.

SCACHE, D. (1986). Pour l'introduction d'une composante technologique au LEP en sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 680, 409-426.

VIENNOT, L. (1977). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse de doctorat en sciences physiques, Université Paris 7.