

Un modèle de la propagation des sons

par Guy ROBARDET

Enseignant-formateur

Nicolas ORAND et Cédric PLUVINAGE

Professeurs stagiaires

IUFM de Grenoble

RÉSUMÉ

L'article décrit un enseignement du concept de propagation effectué, dans le cadre d'un mémoire professionnel d'IUFM, avec des élèves de seconde à l'occasion de l'étude des sons. La démarche adoptée ici s'appuie sur un modèle analogique de type mécaniste. Au cours des séances de travail, les élèves résolvent différentes situations-problèmes en pratiquant une démarche scientifique qui les conduit à passer tour à tour du modèle au phénomène (anticipation) et du phénomène au modèle (validation). Petit à petit, au fil des situations traitées, le concept de propagation prend sens dans leur esprit.

INTRODUCTION

Lorsque les concepteurs des actuels programmes de physique ont choisi, pour la classe de seconde, le thème conducteur des sons, ils l'ont fait en considérant qu'il «concerne l'environnement quotidien et (qu'il) suscite particulièrement l'investissement de nombreux adolescents». Ils l'ont fait, également parce que ce thème «offre la possibilité d'un travail expérimental varié permettant de sensibiliser l'élève aux méthodes expérimentales». L'objectif d'ensemble d'un tel enseignement, dit le programme, consiste à faire comprendre, au travers d'une physique vivante et bien ancrée sur les activités humaines, que la physique contribue, au niveau fondamental, «à rendre notre monde intelligible ou, en d'autres termes, qu'elle permet de l'expliquer avec un petit nombre de lois». Il est rappelé, plus loin que ces lois sont valables dans leur domaine d'adéquation et que leur fonction est notamment de permettre la prévision des phénomènes.

S'il est un phénomène nouveau pour un élève de seconde, au niveau de son interprétation, et fondamental pour la physique, c'est bien celui de la propagation. A bien y réfléchir, il semble en effet défier les lois de la mécanique : quel est donc ce phénomène qui fait qu'un son très puissant peut être émis dans une pièce par un haut-parleur, transporté en tous sens à plus de mille kilomètres à l'heure sans que les portes claquent ou même que les rideaux bougent ?

1. QU'EN PENSENT LES ÉLÈVES ?

Comme en électricité, en mécanique, ou dans d'autres domaines de la physique, les élèves ont des idées sur la propagation des sons. Ces conceptions ainsi que celles qui concernent les raisonnements intuitifs des élèves à propos des phénomènes ondulatoires, ont été longuement étudiées par Laurence MAURINES [2]. Les enfants et adolescents interprètent généralement les phénomènes sonores à l'aide de schémas de types mécanistes inspirés de leurs conceptions de la balistique. Ainsi, pour eux, de la même façon qu'un projectile tombe sur le sol en fin de course, les sons ne franchissent pas une certaine distance et si les sons puissants sont entendus de plus loin que les autres, c'est qu'ils ont été « lancés » plus fort, ... plus vite. Dans le même esprit, les sons forts, les sons stridents, etc. se déplacent plus vite que les sons faibles. De même qu'en mécanique, les milieux peuvent offrir d'autant plus de résistance au mouvement qu'ils sont denses, les sons se déplacent moins rapidement dans les solides que dans les liquides. Dans un même milieu, toujours en raison des résistances, les sons ralentiraient en s'éloignant de leur source pour s'épuiser et ainsi devenir inaudibles. S'appuyant sur la connaissance que les sons ne se propagent pas dans le vide, des élèves disent parfois que les sons ont besoin d'air pour passer ; ils en déduisent alors que la transmission sera d'autant meilleure que le milieu contiendra plus d'air, ou qu'il y aura plus de place entre les atomes ou entre les molécules car ils confondent souvent le vide avec l'air.

Ces conceptions sont donc aux antipodes du discours de la physique et l'on peut s'attendre à de sérieuses difficultés avec la construction, en classe, du concept scientifique de propagation. Le franchissement de l'obstacle suppose une réelle volonté de l'attaquer et ne peut se limiter à la seule « mise en évidence de la nécessité d'un milieu matériel » ou à la mesure de « la célérité du son ». En effet, intituler ainsi un chapitre revient à ne pas prendre en compte les idées des élèves exposées précédemment. L'enseignement que nous proposons ci-dessous se donne comme objectif le franchissement de cet obstacle. Il a été expérimenté et observé en classe et a fait l'objet d'un mémoire professionnel PLC2 [3]. Sa conception repose sur l'utilisation d'un modèle analogique mécanique.

2. LE MODÈLE¹ ANALOGIQUE DE RÉFÉRENCE

C'est Newton qui eut le premier l'idée d'utiliser un modèle analogique pour rendre compte des phénomènes de propagation des sons dans un milieu unidimensionnel. Il considéra l'air contenu dans un long cylindre comme un ressort hélicoïdal et la propagation du son comme analogue à celle de la compression de quelques spires le long de

1. Pour plus de précision sur la notion de modèle et la démarche de modélisation en physique on pourra se reporter à l'ouvrage de G. ROBARDET et J.-C. GUILLAUD [4].

ce ressort. Ses calculs, repris ensuite et améliorés par Laplace², permirent de justifier le modèle au niveau de sa prédictivité quantitative. A l'aide du modèle, Laplace calcula en effet une vitesse théorique de la célérité du son dans l'air et trouva 332 m/s. L'étude théorique de la propagation des signaux longitudinaux dans les solides et les liquides permet d'affirmer que le modèle de Newton présente une cohérence suffisante pour interpréter la propagation des ondes à la fois dans les gaz, les liquides et les solides [1].

Pour notre travail, nous nous sommes fortement inspirés du modèle de Newton. Notre intention était de munir les élèves d'un modèle de la propagation des ondes leur permettant d'effectuer des prévisions correctes concernant les phénomènes sonores et donc de mettre en difficultés leurs conceptions intuitives. L'idée de départ a été de découpler, dans le modèle du ressort, le coefficient d'inertie constitué par la masse linéique du ressort et son coefficient de raideur.

Nous avons ainsi choisi de représenter une colonne du milieu de propagation par une succession de boules indéformables identiques de masse m reliées par des ressorts identiques de raideur k et de masse nulle (cf. figure 1).



Figure 1

Dans ce modèle, chaque couple {boule + ressort} représente une tranche de la colonne constituant le milieu de propagation. La masse m des boules représente l'inertie du milieu proportionnelle à la masse d'une tranche de la matière qui le constitue (elle-même proportionnelle à sa masse volumique) et la raideur k des ressorts représente sa rigidité vis-à-vis d'une perturbation de pression.

Le calcul, effectué sur le modèle, montre que la vitesse de propagation d'un signal de compression se propage le long des ressorts avec une célérité proportionnelle à :

$$\sqrt{\frac{k}{m}}$$

Ce modèle simple présente l'avantage de séparer de façon très explicite, la propriété d'inertie du milieu représentée par m et celle d'élasticité représentée par $1/k$. Ce

2. Cf. BERKELEY : «Ondes» - vol. 3, Paris, Armand Colin.

point est très important, il permet de rendre intelligible deux notions différentes, amalgamées et dissimulées par le modèle de Newton.

Son champ expérimental de référence est relativement conséquent. Il permet de comprendre :

- que les phénomènes sonores se font sans transport de matière mais nécessitent un milieu matériel,
- que la célérité d'un son ne dépend pas de son amplitude, de son enveloppe ou de sa fréquence,
- que cette célérité est constante dans un milieu donné (pas de ralentissement des sons),
- qu'elle ne dépend que du milieu de propagation,
- qu'elle augmente avec sa rigidité (ou qu'elle diminue avec son élasticité),
- qu'elle diminue lorsque la masse volumique de la matière constituant le milieu augmente.

Concernant ces deux derniers points, on constate assez bien, en effet, que les sons se propagent plus vite dans les solides que dans les liquides et dans les liquides que dans les gaz. Le modèle explique également assez bien que, pour un même état physique, la célérité diminue lorsque l'inertie du milieu de propagation augmente ; autrement dit, lorsque la masse volumique de la matière qui le constitue augmente³. Ainsi, par exemple, les sons se propagent plus vite dans l'acier que dans le plomb, dans le dihydrogène que dans le dioxyde de carbone.

Une remarque importante s'impose ici. Il convient, en effet, de bien préciser que ce modèle ne doit pas être confondu avec un modèle microscopique de la matière. Il ne tient pas sa légitimité théorique des connaissances microscopiques sur les états solide, liquide et gazeux mais des théories mécaniques et thermodynamiques macroscopiques des déformations de la matière. En particulier, la masse des boules ne représente pas celle des atomes ou des molécules constituant le milieu mais celle, macroscopique, d'une tranche de matière proportionnelle à la masse volumique de la matière constituant le milieu. Ainsi le modèle ne prétend pas avoir un caractère descriptif des états microscopiques (comment le pourrait-il d'ailleurs compte tenu de la pluralité de ces états). Sa fonction se résume, comme c'est toujours le cas pour un modèle, à celle de représentation théorique (ici analogique) des phénomènes physiques qu'il permet de comprendre [4].

3. Cette classification est forcément un peu grossière dans la mesure où la rigidité, liée par exemple pour l'état solide au module d'élasticité de YOUNG (Y), est susceptible de varier fortement d'un corps à un autre. Ainsi, par exemple, les célérités des sons dans l'aluminium et le fer sont assez proches (aux environs de 5 000 m/s) alors que l'on pourrait s'attendre à ce que celle de l'aluminium de densité 2,7 soit nettement supérieure à celle du fer (densité 7,9). Mais l'aluminium étant nettement moins élastique ($Y = 0,7 \cdot 10^{11}$) que le fer ($Y = 2,06 \cdot 10^{11}$), les différences d'inerties entre les deux métaux sont compensées par des différences d'élasticité.

On peut donc s'attendre à ce que ce modèle analogique se référant à la mécanique puisse être d'un grand secours pour effectuer des prévisions sur les phénomènes sonores. Le problème est que les élèves de seconde (comme d'ailleurs nombre de leurs aînés) ne disposent pas du concept d'inertie leur permettant une utilisation intellectuelle du modèle. Pour palier cet inconvénient didactique nous avons décidé de matérialiser le modèle en le présentant aux élèves sous la forme d'une maquette concrète.

3. LE MODÈLE MATÉRIALISÉ UTILISÉ EN CLASSE

Celui-ci a été réalisé au moyen de petits chariots en Lego Techniques reliés par des ressorts identiques. L'ensemble, posé sur une gouttière de matière plastique horizontale (pour diminuer les frottements et assurer un guidage convenable) est maintenu tendu entre deux potences (cf. figure 2). La masse des chariots peut être modifiée en fixant sur ceux-ci des masses additionnelles. Les ressorts peuvent être remplacés par d'autres de même dimension mais de raideurs différentes⁴.

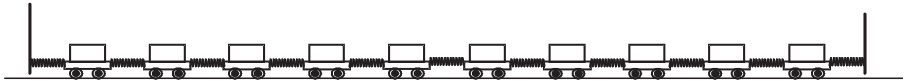


Figure 2

Une action sur le premier chariot se propage de proche en proche. Le phénomène est visible à l'œil nu mais il gagne, pour l'étude, à être enregistré au moyen d'une caméra vidéo puis observé au ralenti ou bien image par image. Des comparaisons de vitesses de propagation sont ainsi très facilement réalisables à partir des enregistrements vidéo. Ceux-ci permettent l'observation et l'étude des phénomènes aussi bien dans le cas d'une excitation par impulsions que dans celui d'une excitation périodique.

4. LE MODÈLE UTILISÉ AVEC LES ÉLÈVES

4.1. Le texte du modèle

Règles de modélisation

On découpe **par la pensée** l'espace occupé par le milieu matériel de **propagation en tranches identiques de même volume**. On fait alors correspondre à chaque tranche de matière un chariot et un ressort (cf. figure 3).

4. Ce modèle matérialisé peut être réalisé facilement au moyen de Lego Techniques (réf. 9605). Les ressorts peuvent être commandés chez Jeulin (réf. 32300640).

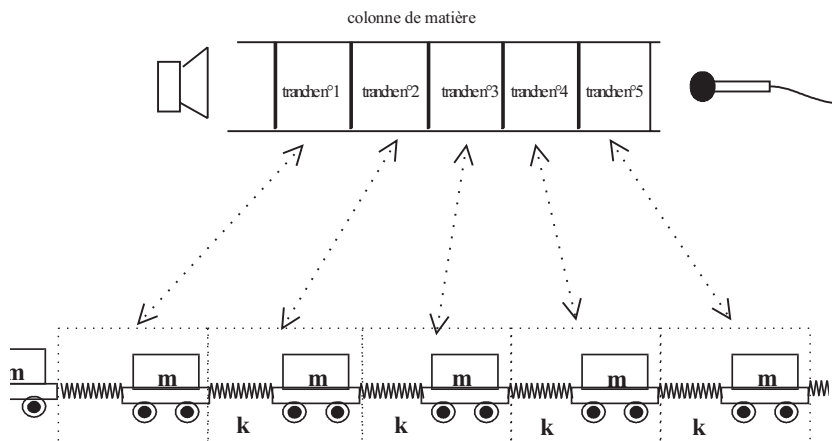


Figure 3

Pour traduire les propriétés physiques de chaque tranche de matière vis-à-vis de la propagation des sons on utilise les propositions suivantes :

- Chaque tranche de matière est représentée par un chariot et un ressort.
- La masse m du chariot représente la difficulté de la tranche de matière à se mettre en mouvement (inertie) qui croît avec la masse volumique de la matière correspondante.
- La raideur k des ressorts représente la rigidité de la tranche de matière c'est-à-dire sa résistance à la compression et à l'extension. Ou, si l'on préfère, l'élasticité des ressorts ($1/k$) représente la facilité, la souplesse, de la tranche à se déformer par compression ou extension.
- La matière constituant le milieu de propagation est donc représentée par les grandeurs m et k . Pour simuler un changement de milieu de propagation on peut modifier la masse m des chariots et/ou la raideur k des ressorts.
- On simule un son par la production d'une impulsion sur le premier chariot du modèle.

4.2. Le champ expérimental de référence

Remarques sur le contenu du champ

Ce modèle permet d'interpréter les phénomènes de propagation des sons dans les gaz, les liquides et les solides. On peut répondre par exemple aux interrogations suivantes : *Comment le son se propage-t-il de ma bouche à votre oreille ? Une flamme devant un haut-parleur très puissant, est-elle soufflée par le son ?*

Le modèle souligne ici l'idée de propagation de proche en proche décrite dans les programmes et permet aussi d'attaquer la représentation qui consiste à dire que la propagation des sons se fait avec un transport de matière. Il permet aussi de rendre compte des différents facteurs qui influent sur la vitesse de propagation comme nous l'avons déjà mentionné plus haut (cf. § 2).

De plus, en exploitant l'augmentation de la célérité avec la raideur du milieu ainsi que sa diminution avec l'inertie de celui-ci, on interprète :

- les variations de la célérité avec le degré hygrométrique,
- l'augmentation de la célérité avec la température,
- la réflexion et la réfraction des sons lors d'un changement de milieu.

Les limites du modèle

Le modèle ne permet pas de rendre compte des phénomènes de diminution de l'intensité sonore avec la distance dans un espace à trois dimensions⁵ et de transport d'énergie par une onde sonore. Ainsi, on ne pourra pas répondre à la question : pourquoi un son fort est-il entendu plus loin qu'un son faible ?

5. COMMENT AVONS-NOUS INTRODUIT LE MODÈLE EXPLICATIF DE LA PROPAGATION DU SON ?

5.1. Mise en situation des élèves

Afin de donner de l'intérêt à notre modèle et de susciter l'attention des élèves, nous avons choisi de formuler une situation-problème liée au phénomène de propagation du son. Nous avons posé la question suivante : *«Comment les sons vont-ils de ma bouche à votre oreille ?»*.

Nous avons laissé réfléchir les élèves pendant quelques minutes, en leur demandant de formuler leurs explications par écrit. L'expérience a montré que les élèves ne manquaient pas d'imagination, en fournissant des explications variées, souvent analogiques, parfois fort éloignées des modèles scientifiques, ainsi qu'en témoignent les exemples ci-dessous :

«C'est comme des morceaux de sucre qui se percutent de proche en proche» ;

«C'est comme une pierre jetée dans l'eau» ;

5. La conservation de l'énergie émise par une source ponctuelle dans un milieu à trois dimensions entraîne une diminution de l'amplitude. De plus le rapport de la surface réceptrice à la surface d'onde diminue également avec la distance.

«C'est comme un serpent qui avance sur le sol» ;

«La voix lance des ondes qui se percutent les unes sur les autres» ;

«Le son est aspiré par l'oreille» ;

«Le son, c'est un déplacement de particules» ;

«Le son se propage grâce à des charges électriques...».

5.2. Travail effectué avec les élèves dans le modèle matérialisé

Nous avons expliqué aux élèves que lors de la propagation d'un son, tout se passait comme si une perturbation mécanique se propageait sur un dispositif formé de chariots pesants et de ressorts et que ce dispositif serait utilisé comme modèle pour comprendre les phénomènes de propagation. Nous leur avons alors dit que cela nécessitait qu'on fasse avec eux un court détour par l'étude des propriétés du modèle matérialisé. Un travail en classe a alors été effectué en référence au seul modèle matérialisé et en présence de celui-ci. Nous avons laissé, à ce stade, volontairement de côté toute référence à la propagation des sons.

Dans le but de familiariser les élèves avec les concepts d'inertie et d'élasticité, nous leur avons proposé des situations-problèmes relatives au dispositif matériel. Pour chaque situation, le déroulement fut alors systématiquement le suivant :

1. Proposition d'une action à effectuer sur le dispositif suivie d'une question concernant un effet. Exemple : «*Si je pousse fermement le premier chariot, le signal produit se propagera-t-il à vitesse croissante, décroissante, constante ? Pourquoi ?*».
2. Demande de prévisions et d'explications individuelles ou en petits groupes. Les prévisions et arguments sont ensuite collectés par le professeur au tableau à titre d'hypothèses.
3. Un débat avec le groupe, avant expérimentation, est possible il doit conduire à éliminer d'éventuelles hypothèses fantaisistes. Le professeur veillant cependant à ne pas influencer les opinions des élèves.
4. Les hypothèses retenues sont alors soumises au contrôle expérimental : on réalise la manipulation devant eux sur le modèle matérialisé, on observe le phénomène au ralenti et on effectue les éventuelles mesures de vitesse sur un enregistrement vidéo.
5. Une discussion suit qui permet aux différents points de vue de s'exprimer après l'expérience, et au professeur d'instituer ce qui doit être su.

Les autres situations-problèmes ci-dessous, furent ensuite traitées suivant le même schéma :

«*La célérité sera-t-elle modifiée selon la façon dont j'agis sur le premier chariot (plus ou moins vite, dans un sens ou dans l'autre) ?*» ;

«*Si je surcharge tous les chariots de la même façon, cela va-t-il modifier la célérité du signal ? Si oui dans quel sens ?*» ;

«*Si je remplace tous les ressorts par d'autres, plus raides (ou plus souples) cela va-t-il modifier la célérité du signal ? Si oui dans quel sens ?*» (Dans le même temps, les rai-
deurs des ressorts sont comparées en suspendant à chacun d'eux une même masse et, éventuellement, en les faisant osciller) ;

«*Si je ne surcharge que les cinq derniers chariots et pas les premiers, que va-t-il se passer ?*» ;

«*Que se passera-t-il si, en plus, je relie les cinq derniers chariots par des ressorts plus raides et les premiers par des ressorts plus souples ?*».

L'expérience nous a montré que ce travail préalable avec les élèves sur le modèle matérialisé était nécessaire pour concrétiser les caractéristiques principales de la propagation d'un signal. Les extraits de dialogues, ci-dessous, qui concernent des anticipations (phase 2), permettent de se faire une idée de la richesse des discussions.

Prof : *Comment pourrait-on augmenter le temps de propagation ?*

Sandrine : *Ben, il faut plus de poids.*

Prof : *Plus de poids. Selon vous, il représente quoi ce poids des chariots ?*

Marie : *Ben...*

Charlotte : *La rapidité.*

Prof : *Pardon ?*

Charlotte : *Ils auront plus de mal à se déplacer.*

(...)

Prof : *Nous allons exciter ce chariot-là, que va-t-il se passer ?*

Julie : *Ils vont se mettre en mouvement et revenir à leur position... même peut-être ceux qui sont plus chargés. Peut-être.*

Valentine : *Non, ils ne vont pas revenir.*

Prof : *Pourquoi ?*

Valentine : *Ils sont trop lourds.*

Prof : *Un ressort qui se dilate veut toujours revenir dans sa position initiale.*

Valentine : *Ils vont revenir, non... merde. Alors ça va pas. Le ressort, il ne va pas avoir assez de force pour tirer le chariot.*

Julie : Oui, mais les ressorts entre les chariots plus lourds et les chariots moins lourds, ils ne vont pas se comprimer de la même façon.

Ce n'est qu'à l'issue de ce travail sur le dispositif que nous avons commencé à l'étudier en tant que modèle de la propagation des sons.

6. COMMENT AVONS-NOUS UTILISÉ LE MODÈLE POUR ÉTUDIER LES PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION DES SONS ?

6.1. Présentation du modèle aux élèves

Nous avons expliqué aux élèves que pour comprendre les phénomènes de propagation il était nécessaire de mettre en œuvre l'utilisation d'un modèle. Nous étions conscients qu'il serait difficile de conceptualiser un tel modèle pour des élèves d'une classe de seconde. Aussi, avons-nous choisi de leur faire formuler certains des éléments de ce modèle. Pour cela, nous avons présenté l'idée principale énoncée ci-dessous :

«On considère une colonne de matière (gaz, solide, liquide) que l'on choisit de découper par la pensée. On représente alors, l'ensemble de la colonne par des chariots de masse m reliés par des ressorts de raideurs k ».

En manipulant le dispositif devant les élèves et sans commentaires particuliers, nous avons fait sentir aux élèves, par analogie, que dans un milieu matériel une information peut être transmise d'un point à un autre sans qu'il y ait un déplacement d'ensemble de matière.

Nous avons ensuite posé aux élèves les questions suivantes, en leur demandant des réponses individuelles écrites, discutées ensuite avec la classe :

*«Quelles propriétés physiques de chaque tranche du milieu matériel sont traduites
– par la raideur des ressorts, d'une part ?
– par la masse des chariots, d'autre part ?».*

6.2. La validation expérimentale du modèle

Nous avons proposé aux élèves de travailler sur les situations-problèmes énoncées ci-dessous et au paragraphe 6.4 chacune d'elles étant mise en œuvre selon le déroulement suivant :

1. La question est, au départ, explicitement formulée par le professeur. Par exemple : *«Un son émis par une source se propage-t-il avec une vitesse croissante, décroissante, constante ?».*

2. On s'attend à ce que les élèves formulent une réponse par écrit, éventuellement en s'appuyant sur leurs conceptions et sans utiliser le modèle. Ici, par exemple, les élèves ont alors facilement tendance à répondre que la vitesse diminue. Les propositions sont alors recueillies.
3. On demande ensuite aux élèves de formuler une hypothèse à l'aide du modèle. Ainsi dans notre exemple, le professeur pose maintenant la question : *«Quelle réponse à la question précédente donneriez-vous en utilisant le modèle ?»* Le travail déjà effectué dans le modèle matérialisé permet aux élèves de répondre que le signal se propage de chariot en chariot à vitesse constante, et donc que, si le modèle est valide (hypothèse qui reste à vérifier), le son doit se propager à vitesse constante.
4. Les expériences de validation sont alors construites, discutées et réalisées avec les élèves. Ici, par exemple, elles consisteront à effectuer des mesures de la célérité du son à différentes distances de la source.

6.3. Modèle théorique ou modèle matérialisé ?

Le modèle analogique de référence, qui est purement théorique, ne doit pas être confondu avec le modèle matérialisé dont la fonction est purement didactique. Ce dernier n'est pas exempt d'imperfections responsables, par exemple, de dissipations d'énergie. Celles-ci se traduisent par des atténuations d'amplitude relatives aux mouvements des chariots qui ne peuvent en rien rendre compte de la diminution de l'intensité sonore avec la distance à la source. Par conséquent, nous avons veillé, lors des discussions avec les élèves, à replacer le débat au niveau du modèle théorique idéalisé (cf. § 1) et nous avons souligné aux élèves que la matérialisation forcément imparfaite n'apportait qu'un support visuel qui n'est là que pour suggérer le modèle théorique. L'extrait ci-dessous est tout à fait révélateur des débats que nous avons eu à ce sujet avec les classes.

J.-Christophe : *Ouais, mais les chariots ils s'arrêtent au bout d'un moment.*

Baptiste : *Ben oui c'est à cause de l'air.*

Prof : *Quel air ?*

Baptiste : *Ben l'air qu'il y a entre les chariots.*

J.-Christophe : *Ben en fait, il y a du frottement avec les molécules d'air.*

Prof : *Alors est-ce pertinent ?*

Baptiste : *C'est pertinent... euh... oui...*

J.-Christophe : *Non, ben ça voudrait dire que quand il y a du vent, on n'entend plus.*

Baptiste : *Ah non ! ça n'a rien à voir. Le problème c'est que nous on essaie d'interpréter un mouvement à partir de tranche d'air ; donc il ne faut pas prendre en compte l'air dans notre modèle.*

Prof : *Pourquoi ?*

Baptiste : Parce qu'on essaie d'interpréter

Prof : Est-ce que l'air fait partie du modèle ?

Baptiste : Non.

Prof : C'est quoi, le modèle ?

Baptiste : C'est des chariots et des ressorts.

Prof : Et ils seraient dans quoi ces chariots ?

Baptiste : Du vide.

Prof : Est-ce que le rail fait partie du modèle ?

Baptiste : Non plus.

Prof : Il sert à quoi ?

Baptiste : A ce que ça roule mieux.

6.4. Autres situations-problèmes qui contribuent à la validation du modèle ou/et qui permettent une utilisation du modèle à des fins prédictives

1. Un son fort ou strident se propage-t-il plus, moins ou aussi vite qu'un son faible ?
2. Un ballon de baudruche est placé devant un haut-parleur de forte puissance : Que se passe-t-il ?
3. La flamme d'une bougie est placée à quelques dizaines de centimètres devant un haut-parleur de forte puissance : Que se passe-t-il ⁶ ?
4. Un son se propage-t-il plus vite dans l'air, dans l'eau, dans l'acier ?
5. Dans quel métal le son se propage-t-il le plus vite : L'aluminium ? Le plomb ? Le cuivre ?
6. Comment varie la vitesse du son dans le diazote et le dioxyde de carbone ?
7. Quel est l'effet de la température sur la vitesse du son dans l'air ?
8. Un son se propage-t-il plus vite dans l'air sec ou dans l'air humide ⁷ ?
9. Comment le modèle permet-il d'expliquer le phénomène d'écho ?

6. Ces deux situations visent à confirmer l'absence de transport de matière : le ballon ne s'envole pas, la flamme ne s'éteint pas, ne se couche pas.

7. L'interprétation par le modèle des deux situations précédentes se fait en termes de comparaison des masses volumiques. Pour un gaz, celle-ci décroît avec une augmentation de la température. Quant à l'effet du degré hygrométrique, il dépendra de nature du gaz. Il faut comparer les masses volumiques des mélanges gaz + vapeur d'eau. Ainsi, par exemple, dans l'air humide les sons se propagent plus rapidement que dans l'air sec, en revanche dans l'hélium humide les sons se propagent plus lentement que dans l'hélium sec.

10. Le plongeur sous l'eau entend-il mieux ce que lui disent les personnes restées sur la berge que s'il a la tête hors de l'eau ?

Nous terminerons par quelques derniers extraits de dialogues d'élèves qui montrent comment les élèves utilisent le modèle pour prévoir les phénomènes (les numéros des situations problèmes sont donnés en référence).

6.5. Quelques extraits de dialogues d'élèves

Situation n° 1 : les sons forts vont-ils plus vite ?

Baptiste : (Ça dépend) de l'impulsion.

Prof : Ça veut dire quoi, dépend de l'impulsion ?

Baptiste : De l'impulsion qu'on va donner au premier chariot au départ.

Prof : Oui, ça veut dire quoi ?

Baptiste : Oui, plus on va tirer fort, plus la vitesse sera grande.

Prof : Ça, c'est l'interprétation que l'on peut donner avec le vocabulaire du modèle. Maintenant, revenons à la réalité...

Baptiste : Eh ben, plus le son sera fort, plus on l'entendra euh... plus il ira vite.

(L'évocation du travail effectué sur le modèle matérialisé et les mesures de célérité effectuées sur des sons différents lui montreront qu'il se trompe).

Situation n° 2 : le ballon va-t-il s'envoler ?

Valentine : Devant un haut-parleur très puissant, il s'en va quand il n'est pas tenu.

Rachel : Mais non, il ne s'en va pas.

Julie : Le modèle dit que non.

Valentine : Moi, je suis pas convaincue, je dis qu'il s'en va.

Rachel : Il vibre.

Julie : Moi, je dis qu'il vibre

(...)

Valentine : Les chariots ils bougent les uns après les autres.

Julie : Oui, moi j'en suis plus très sûre.

Prof : Très sûre de quoi ?

Julie : Qu'ils (les chariots) vont pas revenir, enfin si, si on regarde le modèle, ils devraient revenir. Moi, personnellement je pense qu'ils vont revenir, si on ne regarde que le modèle.

Prof : Cela veut dire qu'un ballon devant un haut-parleur très puissant ne devrait pas s'envoler ?

Julie : Ouais, mais je ne sais pas, en fait je ne suis pas très sûre, je sais plus moi ! ...Non en fait le ballon il revient, et on s'est trompé depuis le début.

Valentine : Mais il ne va pas revenir, il n'a pas assez de force. Y a pas de force qui l'aspire pour qu'il revienne.

Julie : Oui, mais, d'un autre côté, si on regarde le modèle, il le prouve, ils vont toujours revenir les chariots, quoi qu'on fasse !

7. POUR CONCLURE

Outre une interprétation des phénomènes de propagation des sons, nous avons voulu montrer aux élèves, qu'une caractéristique essentielle de la science et de la démarche scientifique consiste à comprendre (au sens de prendre ensemble) des phénomènes apparemment divers dans un même univers de rationalité et que, pour ce faire, la science élabore ses modèles et ses théories.

Lorsque l'étude des sons a été introduite dans le programme de la classe de seconde, nombreux ont été celles et ceux qui, parmi les enseignants, se sont interrogés sur la manière de s'y prendre. Ou bien on se limitait à une étude plus ou moins exhaustive des phénomènes sonores, en une sorte de leçon de choses sans grand effort de théorisation, et on était en droit de se demander en quoi la démarche proposée pouvait être scientifique. Ou bien, on se donnait, avec la construction chez l'élève du concept essentiel de propagation, un objectif scientifique important, mais on savait, pour l'avoir tenté autrefois en classe terminale puis en classe de première, que cette construction était difficile et que les difficultés calculatoires et de formalisation pouvaient constituer des obstacles à cette construction. Il nous semble que la démarche de modélisation que nous avons utilisée en classe et présentée ci-dessus peut contribuer à résoudre ce problème. C'était, en tous cas notre objectif et l'expérience que nous avons tiré de ce travail avec les élèves nous autorise, semble-t-il, à dire qu'il peut être atteint sans trop de difficultés au moyen d'un modèle analogique de type mécaniste et de sa matérialisation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.-C. DION : «*Ondes et Vibrations*» - Montréal, Centre Éducatif et Culturel Inc (1974).
- [2] L. MAURINES, Mécanique spontanée du son. *Tréma* n° 3-4, IUFM de Montpellier (1993).
- [3] C. PLUVINAGE : «*Les élèves face à une démarche de modélisation de la propagation des sons*» - Mémoire professionnel PLC2, IUFM de Grenoble (1998).
- [4] G. ROBARDET et J.-C. GUILLAUD : «*Éléments de didactique des sciences physiques : théories, modèles conceptions et raisonnement spontané*» - Paris, PUF (1997).