

Fiche 2

Ondes mécaniques (secondaire)

Ressources utilisées

- Nouveaux programmes de physique-chimie en seconde et première
- Anciens programmes de physique chimie de Terminale générale
- Anciens programmes de physique-chimie de Terminale technologique
- Lelivrescolaire 1^{re} Physique-Chimie, 2019
- Belin 1^{re} Physique-Chimie, 2019
- Taillet, *Dictionnaire de physique*

Éléments imposés possibles

Remarque Niveau, pré-requis, plan et bibliographie sont à adapter en fonction de l'élément imposé...

- Sismologie.

Introduction pédagogique

Niveau Première, enseignement de spécialité → peu de pré-requis.

On ne discutera pas beaucoup des ondes sonores puisqu'elles sont vues en enseignement scientifique.

Difficultés — Milieu matériel – on le précisera à chaque fois ;

- Double périodicité des OPPH → on le visualisera avec un script Python ;
- Lecture et compréhension d'un langage de programmation – Python – d'autant plus que cela est écrit dans le programme officiel.

Travaux dirigés étude de plusieurs types d'ondes (sismiques, ondes sur une corde, ...), essayer d'en déterminer la périodicité, la célérité, si elles sont transversales ou longitudinales, ...

Travaux pratiques élaborer d'autres codes Python pour modéliser la propagation d'une onde, cuve à ondes et stroboscope.

Remarque En première, traitement quasi-seulement des ondes progressives et pas des ondes stationnaires.

Pré-requis

- Constitution de la matière (atomes, molécules) [seconde]
- Ondes sonores et ondes lumineuses (émission, propagation et réception) [seconde] ;
- Phénomènes périodiques (période, fréquence, célérité d'une onde) [seconde] ;

Introduction

Timing : 3 min 30 s

En seconde, les signaux sonores ont été introduits ainsi que la propagation des ondes lumineuses. Vous avez vu que ces phénomènes reposaient sur des phénomènes périodiques, avec la notion de période/fréquence (répétition à l'identique d'un signal au cours du temps) et la notion de célérité (vitesse de propagation du signal) d'une onde : ces notions vont être réinvesties dans un cas particulier des ondes, les ondes mécaniques. On croise ce type d'ondes au quotidien, puisque les ondes sonores sont des ondes mécaniques.

Les objectifs de ce cours seront multiples. D'abord, il s'agira de comprendre ce qui caractérise une onde mécanique. Ensuite, nous essaierons de poser un cadre mathématique autour de ce phénomène physique, quitte à le modéliser informatiquement. Nous profiterons donc de ce cours pour introduire un outil numérique qui est le langage de programmation Python.

2.1 Les ondes mécaniques

Timing : 5 min 30 s

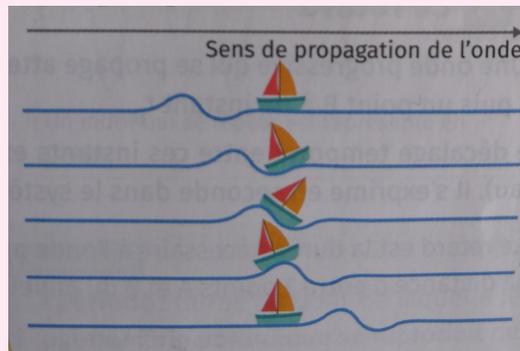
De nombreux exemples vous entourent : les vagues, les ondes sonores dans l'air ou dans d'autres milieux, les ondes sismiques...

2.1.1 Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

Une **onde mécanique** est une perturbation qui se propage dans un milieu **matériel**. Une perturbation est un bouleversement ou une modification d'un équilibre/d'une situation invariable jusque là. On dira de plus que l'onde est **progressive** si la perturbation entraîne un transfert d'énergie sans transport de matière (*cf.* figure ci-dessous).

Projection

Belin, p.300



2.1.2 Les caractéristiques d'une onde mécanique progressive

Timing : 8 min 40 s

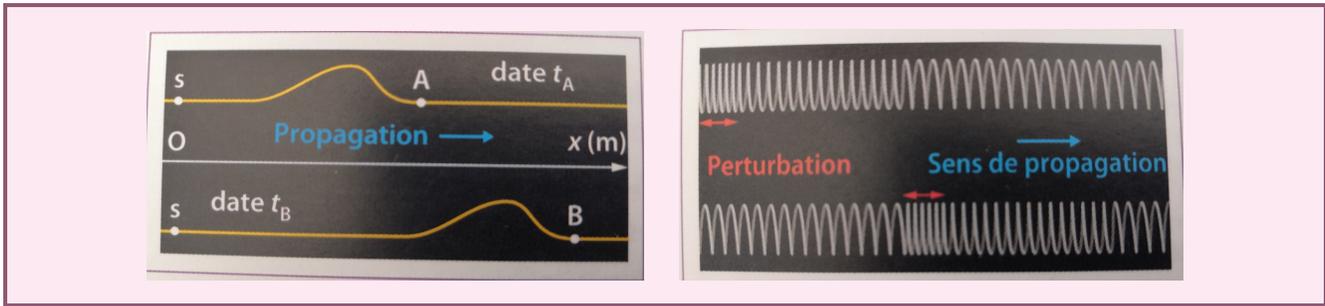
On s'intéresse à une onde mécanique progressive sans périodicité : l'excitation d'un bout d'une corde une seule fois par exemple (figure de gauche). On peut définir plusieurs choses :

L'amplitude de l'onde, qui correspond à la déformation maximale du milieu matériel par rapport à son état d'équilibre (au repos) au passage de la propagation.

Le front d'onde qui est le début de la perturbation (qui lui, se déplace : mais pas la matière, on le rappelle).

Projection

Belin, p.300



Enfin, pour les ondes mécaniques, on opère deux distinctions :

Les ondes transversales pour lesquelles la direction de la perturbation est **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde (figure de gauche).

Remarque Garder en tête, et éventuellement préciser, qu'il peut à avoir plusieurs polarisations possibles !

Les ondes longitudinales pour lesquelles la direction de la perturbation est **parallèle** à la direction de propagation de l'onde (figure de droite).

Projection

Vidéo d'un ressort. *Source Vidéo YouTube, à 2'00", mettre au ralenti*

Exemple *Ondes sismiques* (définir la sismologie)

Il existe majoritairement deux types d'ondes sismiques :

- les **ondes P**, qui sont longitudinales et plus rapides ;
- les **ondes S** qui sont transversales.

Projection

Illustration de ces deux ondes, *cf.* Belin, p.295 et quelques

→ Pourquoi y a-t-il une différence de vitesse entre ces deux ondes ?

2.1.3 La célérité d'une onde mécanique

Timing : 14 min 15 s

Enfin, pour caractériser une onde mécanique, une perturbation dans un milieu matériel, on peut s'intéresser à sa **célérité**. La célérité est la vitesse de propagation de la perturbation dans un milieu donné.

C'est ici l'une des informations les plus importantes pour reconnaître une onde mécanique : celle-ci a besoin d'un milieu matériel pour se propager et **sa célérité dépend du milieu**.

Si on mesure le retard $\tau = t_B - t_A$, c'est-à-dire le temps que le front d'onde prend pour aller de A à B, on peut avoir accès à la célérité de l'onde :

$$v_{\text{onde}} = \frac{x_B - x_A}{\tau} \quad (2.1)$$

Exemple Célérité des ondes sonores (compression/dépression dans le matériau) dans : l'air (340), l'hélium (900), l'eau (1500) et l'acier (5000) en m s^{-1}

On se propose de réaliser une expérience sur la mesure de la célérité d'une onde sonore.

Expérience Mesure de la vitesse d'une onde sonore dans l'air : avec les moyens du bord ! *Lelivrescolaire, p.323* On utilise deux smartphones équipés d'un chronomètre sonore (application à télécharger).

Réaliser plusieurs mesures et faire des incertitudes de type A (détailler le calcul en leçon).

Limites de l'expérience :

- mesure de la distance entre les deux téléphones ;
- distance non négligeable entre le clappement de mains et le premier téléphone ;
- téléphone lent pour détecter le clap.

En terminale, on pourra voir une méthode plus précise pour mesurer la célérité d'une onde en utilisant l'effet DOPPLER. Une autre méthode accessible à ce niveau est de déterminer séparément la période temporelle (émetteur et récepteurs ultrasons l'un en face de l'autre) et la longueur d'onde (deux récepteurs en face de l'émetteur ultrasons). L'avantage pédagogique de rester avec la méthode des téléphones, c'est qu'elle est simple et s'inscrit bien dans le déroulement de la leçon : on ne parle que de paquet d'onde et pas encore de signaux périodiques.

Remarque Problème avec l'expérience : il y a une erreur systématique d'un facteur 2. Est-ce une erreur dans les calculs ou un problème de manipulations : à vérifier

Exemple *Localisation de l'épicentre d'un séisme*

On utilise la différence de temps entre l'arrivée des ondes P (t_P) et celle des ondes S (t_S) pour déterminer la distance entre la station de mesure et l'épicentre du séisme :

$$d = \frac{t_P - t_S}{v_S - v_P} v_S v_P \quad (2.2)$$

Application numérique : $d = 427$ km pour Iris, et $d = 492$ km pour Detroit.

A partir des données de 3 stations, on peut localiser l'épicentre d'un séisme : il se trouve à l'intersection des sphères centrées en chacune des trois stations de rayon d calculé pour celles-ci.

Remarque Possible transition sur : la possibilité de décomposer les signaux en sommes de signaux sinusoïdaux, donc se concentrer sur l'étude des ces derniers !

2.2 Les ondes mécaniques périodiques

2.2.1 Cadre général associé aux ondes périodiques

Remarque Raccourcir la première partie pour commencer par introduire les signaux périodiques avec une première sous partie, qu'on peut éventuellement passer si on manque de temps

Timing : 35 min 20 s

2.2.2 Onde périodiques sinusoïdales et décomposition

Lorsque la source de la perturbation est périodique, c'est-à-dire se répète à intervalles réguliers dans le temps, l'onde progressive est dite **périodique**.

Si le phénomène source de l'onde vibre de manière sinusoïdale, l'onde périodique est dite elle-même **sinusoïdale**. Elle a alors l'allure d'un sinus ou d'un cosinus. Si elle se propage selon les x croissants, on peut l'écrire avec la fonction mathématique :

$$s(x, t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v_{\text{onde}}}\right)\right) \quad (2.3)$$

ou encore :

$$s(x, t) = A \cos\left(2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right) \quad (2.4)$$

Exemple Modéliser et montrer ce qu'est un signal sinusoïdal, *Lelivrescolaire*, p.324 Commenter le code en fonction du temps à disposition.

Conclusion

Que faut-il retenir ?

Une **onde mécanique** a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager.

Une **onde progressive** est une perturbation qui entraîne un transfert d'énergie sans transport de matière.

Un exemple particulier d'ondes progressives sont les **ondes progressives sinusoïdales**, que l'on peut modéliser mathématiquement et informatiquement.

En enseignement scientifique, des ondes plus complexes, car sommes de plusieurs fonctions sinusoïdales, seront traitées. Pour les étudier, on aura recours l'analyse spectrale de Fourier.

Questions

Questions	Réponses
<i>Propriétés des ondes.</i>	
Quelle est la différence avec la corde vibrante, de violon ou de guitare avec celles étudiées dans la leçon ?	Dans ces dernières, on a affaire à des ondes stationnaires (faire un schéma de la corde de Melde). Aussi, la corde de Melde est un modèle, on travaille avec une corde sans raideur, ce qui n'est pas le cas avec les cordes de violon ou guitare (cause de la dispersion).
Est-ce qu'une onde peut transporter de l'énergie ?	Oui, les ondes électromagnétiques...
De la quantité de mouvement ?	Oui. Par exemple, notre corps vibre quand on entend des basses.
Quelles sont les sources potentielles de dissipation pour une onde ?	
<i>Célérité des ondes.</i>	
De quoi dépend la vitesse du son dans l'air ?	De la température, de la masse molaire de l'air, du coefficient de Laplace γ (qui dépend de la nature des molécules constituant l'air, si elles sont monoatomiques, diatomiques, ...), de sa densité et de l' humidité (attention ! piège fréquent !).
Quel est le lien entre raideur et distance ?	
Peut-on avoir une onde dans un milieu qui se déplace ?	Oui. Il suffit de changer de référentiel pour s'en rendre compte.
Comment mesurer la vitesse de la lumière avec une tablette de chocolat et un micro-ondes ?	
<i>Ondes sismiques.</i>	
Quelle est la polarisation des ondes sismiques ?	
Comment marche un sismographe ?	Projeter le schéma d'un sismographe. Avant, un stylet relié à un ressort faisant l'acquisition. Aujourd'hui, l'acquisition se fait par induction et par mesure d'une tension.

Quelle est la propriété fondamentale du capteur qui permet de mesurer les ondes sismiques ?	Il est linéaire. On peut donc utiliser la notation complexe pour simplifier les calculs et l'analyse de Fourier.
---	--

Vagues.

Comment critiqueriez-vous la première figure ?	La vague devrait perdre en amplitude et le paquet d'on devrait s'étendre. Le bateau devrait également se déplacer un peu.
--	---

Comment se propage la vague ?	Transfert d'énergie de proche en proche, à la surface de l'eau.
-------------------------------	---

Expérience du téléphone.

Comment exploiter l'expérience du téléphone si on avait un peu plus de temps ?	Utiliser du matériel de meilleure qualité, demander de l'aide à quelqu'un, ...
--	--

Pédagogie.

Comment mettre en évidence avec des élèves les phénomènes de diffraction ou d'interférences ?	Grâce à la forme des vagues dans une baie fermée par une digue, par exemple.
---	--

De quoi est constituée la matière ?	Pour des élèves de lycée, on dira qu'elle est constituée d'atomes et de molécules liées microscopiquement. Elle contient donc essentiellement du vide.
-------------------------------------	--

Debrief

Le rythme était un peu trop lent, mais la voix était posée ce qui était agréable à suivre.

Le plan est bien.

Il faut cependant enrober davantage les leçons en utilisant des illustrations modernes et en contextualisant.

L'élément imposé a bien été traité.

C'est un vrai plus d'avoir présenté la vidéo et le code Python !

Introduction pédagogique

L'introduction pédagogique était bien structurée. Il faut tout de même aller beaucoup plus loin dans son contenu. Il faudrait y faire le lien entre ce qui sera traité dans la leçon et ce qui ne le sera pas, par exemple ici le paquet d'ondes. Il faut également justifier ces choix : pourquoi telle manipulation et non telle autre ? Pourquoi ces exemples ?

Corps de la leçon

Il faudrait évoquer l'atténuation des ondes (parce qu'elles sont sphériques ou que le milieu est absorbant) pour expliquer pourquoi le phénomène finit par s'arrêter.

Il faut revoir l'expérience. Si elle ne marche pas "en live", il faut tout vérifier et retenter une fois. Si ça ne marche toujours pas, on expliquera au jury qu'on passe à la suite dans le cadre d'une leçon d'agrèg mais qu'en classe on chercherait un peu plus loin.

Visiblement, il y aurait une erreur systématique dans la mesure... Il faudrait trouver la source de cette erreur (distance, niveau de déclenchement ?). En soi, c'est une très bonne idée de vouloir calculer des incertitudes de type A, mais on ne peut pas le faire quand le résultat a une erreur systématique.

On pourrait peut-être remplacer cette expérience par la cuve à ondes. Cependant, c'est dommage de tout de suite commencer avec les OPPH...

Il faudra demander si on peut utiliser deux téléphones le jour de l'oral.