LP 2 ≤ 5' I

Ondes mécaniques (sismologie)

Intro. Péda.

Niveau 1re, physique-chimie (spécialité)

dans le nouveau programme (2019).

Biblio :
TAILLET.
Belin 1re PC 2019.
Lelivrescolaire 1re PC 2019.

Pré-requis
→ constitution de la matière (atomes, molécules) [2nde].
→ signaux sonores (émission, propagation, réception) [2de].
→ phénomènes périodiques (période, fréquence, célérité d'une onde) [2de].

Leçon placée au niveau 1re PC (pré-requis ...)
se concentre sur les outils et descriptions utiles aux élèves pour comprendre les ondes mécaniques.
Première approche après "les signaux sonores" → étudiés ⊕ en détails en enseig. scientifique

Difficultés
. saisir la double | périodicité / dépendance en temps/espace de l'expression d'une onde progressive → PYTHON. milieu matériel
. Lecture et compréhension d'un langage de programmation (PYTHON). → commenter et y revenir en TD/TP avec un code ⊕ simple !!

TD Détermination des caractéristiques d'ondes élastiques : sonores, étude des ondes sismiques corde...

TP Illustration des dépendances spatiales et temporelles à l'aide d'une cuve à onde + stroboscope
Cuve à ondes ⊕ stroboscope.
Retour sur la programmation

Introduction élèves   Benjamin ...

En seconde, vous avez vu
notions sur propagation de la lumière
signaux sonores (émission à réception).

avec notion de périodicité : répétition à l'identique d'un signal au cours du temps (selon une période T ou fréquence f).
de célérité : vitesse de propagation du signal.

Ajd. ces notions vont être réinvesties pour l'étude d'un cas des ondes, les ondes mécaniques.

Objectifs
- comprendre ce qui caractérise une onde mécanique;
- modéliser, en mathématique et en informatique, une onde. —

I/ Les ondes mécaniques.

A) Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

Définition:
Une onde mécanique est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel.
↳ bouleversement ou modification {d'un équilibre, d'une situation au repos, invariable jusque là.

On dira que l'onde est progressive si la perturbation entraîne un transfert d'énergie sans transport de matière.

projection Belin p. 300. (!)

Exemples et projections.
- la houle, les vagues
- oscillation d'une corde (ex guitare, musique)
- les ondes sonores (⟺ signaux sonores vus en 2nde.)
- un ressort .... (→ ondes sismiques.)

B] Caractéristiques d'une onde mécanique progressive.

Commençons par nous intéresser aux propriétés d'une onde mécanique progressive (rappel) sans périodicité,

par exemple : excitation d'un bout d'une corde, une fois.

L'onde est décrite par plusieurs caractéristiques dont :

L'amplitude — déformation maximale du milieu matériel p/r à son état d'équilibre.

Projection Belin p. 300.

Le front d'onde — "début" de la propagation — c'est lui qui se déplace et non la matière ⚠.

On distingue enfin les ondes

Transversales direction de la perturbation ⊥ direction de propagation.

Longitudinales ——— // ———

Projection Belin p. 300 corde + ressort puis vidéo ressort. (2'03", ×0,5).

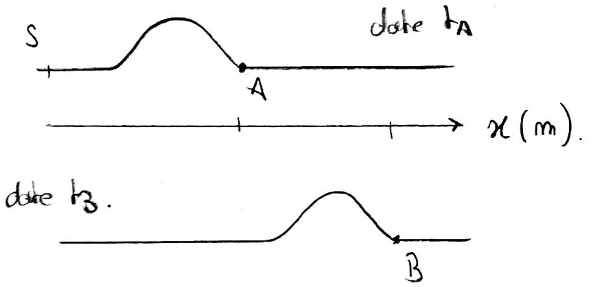
C] Célérité d'une onde mécanique.

Enfin, pour caractériser une onde mécanique se propageant dans un milieu matériel donné, on peut s'intéresser à sa célérité.
↳ déjà vu en 2nd : propagation des signaux sonores

La célérité est la vitesse de propagation de la perturbation dans un milieu donné.

Posons un cadre mathématique simple : projection, Belin p. 300, onde excitée.

Perturbation créée en un point S — appelé point source.



. La propagation se fait selon l'axe des x (croissants)

. Point A atteint à t_A
— B — t_B

On appelle retard du point B | sur le point A | par rapport au point A $\quad \tau = t_B - t_A$. en s.

La distance parcourue par la perturbation pendant ce temps τ est $x_B - x_A$ en m

L'onde se propage alors à la célérité

$$v_{onde} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A} \quad \text{en} \quad m.s^{-1} \quad \equiv \text{vitesse (de propagation)}.$$

dépendance : type d'onde → projection 2

milieu de propagation → projection 1 ondes sonores $\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

dans air ⊕ léger ⊕ rapide

↳ cond. ⊕ rigide
⊕ v ↗

⇐ proche en proche

Expérience

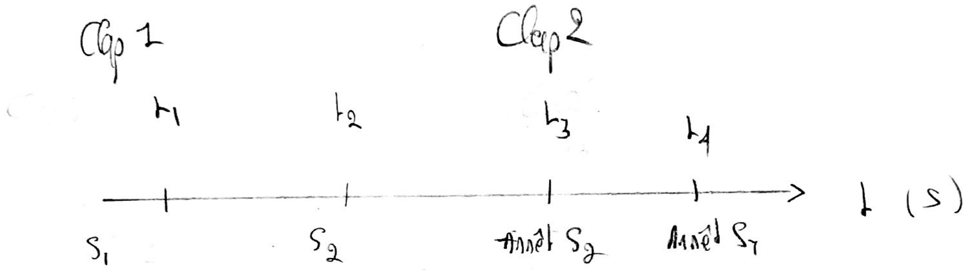
Mesurer une célérité ... chez soi ?

Mesure de la célérité du son dans l'air.

matériel : 2 smartphone, un décamètre.
(application phyphox).

$S_1 \ + \underset{d}{\text{———}} + \ S_2$

(incertitude de type A ?)



Mesure donnée par S_1 : $t_4 - t_1 = t_4 - t_3 + t_3 - t_2 + t_2 - t_1$

$$t_4 - t_1 = d/c + t_3 - t_2 + d/c$$

$$t_4 - t_1 = \frac{2d}{c} + t_3 - t_2$$

Mesure donnée par S_2 : $t_3 - t_2$.

Donc différence $\Delta t = 2\frac{d}{c}$, $c = \frac{2d}{\Delta t}$

Mesures $t_4 - t_1 = 9,398$ s ; 9,566 ; 9,485 ; 10,053

$t_3 - t_2 = 9,351$ s ; 9,493 ; 9,436 ; 10,002

$d = 3,65 \pm 0,05$ m.

$\longrightarrow$ $c = \frac{\Delta t}{2d} = 155 \ m.s^{-1}$; $100 \ m.s^{-1}$; $149 \ m.s^{-1}$; $143 \ m.s^{-1}$...

Incertitudes de type A.

Autre mesure

$v = \frac{d}{T} \Leftarrow \left\{ \begin{array}{l} T \\ \text{puis} \\ d \end{array} \right.$

E —— R

E $R_1 \rightarrow$
R_2

La mesure de la célérité des ondes sonores dans l'air donne le bon ordre de grandeur ($\sim$ centaines de $m.s^{-1}$) mais est faux (facteur 2)

Limitations :
- mesure de la distance fausse
- clap pas au niveau du téléphone
- limites de la "boîte noir" (si téléphone trop lent...).

Autres méthodes ⊕ précise en laboratoire, en Tle ex effet DOPPLER.

(!) 6-bis — élément imposé.

II / Les ondes mécaniques périodiques.

A) Cadre général

Lorsque la source de la perturbation est périodique, c'est à dire se répète à intervalle régulier dans le temps, l'onde progressive créée est dite périodique.

↳ [onde pour laquelle la perturbation se répète, identique à elle-même sur un intervalle de temps régulier appelé période T]

On définit aussi : la fréquence de l'onde périodique $f = \frac{1}{T}$ (en Hz)

projection : cadre général, Ils p. 327.

et la période spatiale ou longueur d'onde λ (en m)

[la plus petite distance qui sépare deux points de l'espace qui sont à chaque instant dans le même état vibratoire.]

Projection : ondes à la surface de l'eau, Ils p. 327.

Ainsi, les points du milieu vibrent avec une double-périodicité : temporelle et spatiale

Un lien est fait entre les 2 périodes par la célérité : $\lambda = v_{onde} \cdot T = \frac{v_{onde}}{f}$.

Comment rendre compte mathématiquement de cette double dépendance et périodicité ?

Application aux ondes sismiques.

↳ force de pression dans la croute terrestre ⇝ séisme = perturbation ⟹ ondes mécaniques à la surface de la Terre.

Surveiller ces ondes sismiques ? **Projection** { fig p. 337 sismographe
+ schéma simplifié ⊕ schéma mesure étalonnage en annexe.

épicentre ⟵ d ⟶ station

$$\tau = \frac{d}{v_{ondes}}$$

donc $\tau_p = \frac{d}{v_p}$ et $\tau_s = \frac{d}{v_s}$

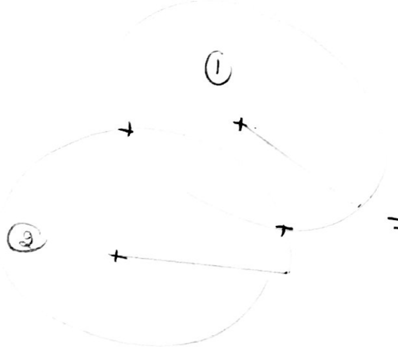
$$\tau_p - \tau_s = d\left(\frac{1}{v_p} - \frac{1}{v_s}\right)$$

et $\tau_p - \tau_s$ représente la ≠ entre les h d'arrivée des P et S.

$$d = (\tau_p - \tau_s) \cdot \frac{1}{\frac{1}{v_p} - \frac{1}{v_s}} = \frac{(\tau_p - \tau_s)\, v_p v_s}{v_s - v_p}$$

① IRIS $d = \frac{-33 \cdot 6 \cdot 4{,}1}{4{,}1 - 6} = 427$ km.

② Detroit $d = \frac{-38 \cdot 6 \cdot 4{,}1}{4{,}1 - 6} = 492$ km



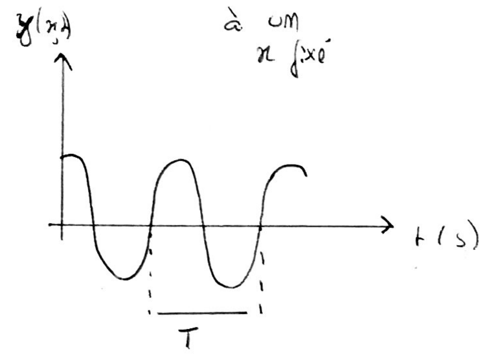
⟹ need un troisième point / station
→ c'est comme cela qu'on localise un épicentre en sismologie.

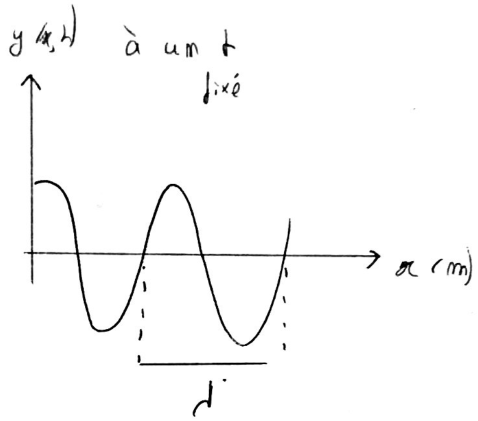
Nous venons d'étudier des ondes mécaniques progressives selon leur caractéristiques non périodiques. Pourtant, vous connaissez des ondes périodiques : un robinet mal fermé en produit, les vagues ; le son (une note de musique)... comment les caractériser et les étudier ?

B] Un cas particulier : les ondes sinusoïdales.

Si le phénomène source de l'onde vibre de façon sinusoïdale, l'onde périodique est elle même dite sinusoïdale.

L'allure de l'onde est alors la même que celle d'un sinus ou d'un cosinus





→ Modélisation informatique

Une onde sinusoïdale se propageant selon les x croissants peut être représentée par la fonction mathématique

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

ou encore

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

Commenter code PYTHON.

⇝ pour aller ⊕ loin : pourquoi des ondes sinusoïdales, alors que ce ne sont pas celles qu'on rencontre le plus naturellement ?

→ Faciles à étudier

→ Tout signal périodique peut se décomposer en somme de signaux sinusoïdaux (FOURIER.

Conclusion

Slides de conclusion, retour sur la leçon.

Ouverture ② vers la terminale → ondes stationnaires

et aspects diffract° / interférences

① vers l'enseignement scientif → onde sonore et décompos° spectrale