BURHAN

Résumé : Ondes mécaniques progressives

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/ondes-mecaniques-progressives/resume

Chapitre	Semestre
Ondes mécaniques progressives	Semestre 1

Onde mécanique et onde progressive

À retenir : Ce que transporte une onde

Une onde mécanique fait voyager une perturbation d'un point à l'autre d'un milieu matériel. Les points du milieu bougent un instant, puis reviennent à leur place. Retiens deux idées : l'onde transporte de l'énergie, jamais de la matière ; elle exige un milieu matériel.

Définition : Onde mécanique

On appelle **onde mécanique** le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel. La perturbation, appelée aussi signal ou ébranlement, est une modification locale et temporaire de l'état du milieu, créée en un point par une source.

Une onde mécanique transporte de l'énergie **sans transport de matière** : au passage de l'onde, chaque point du milieu s'écarte de sa position de repos puis y revient.

Une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel : elle ne se propage pas dans le vide.

Remarque : Le son et le vide

Rappel : le son est une onde mécanique. Il traverse l'air, l'eau ou un mur, mais pas le vide. Deux astronautes en sortie dans l'espace ne s'entendent pas sans radio : entre eux, il n'y a aucun milieu matériel.

Définition : Onde progressive et front d'onde

Une onde mécanique est **progressive** lorsque la perturbation s'éloigne de la source et se transmet de proche en proche dans le milieu. En l'absence d'amortissement, chaque point atteint reproduit, avec un retard, le mouvement de la source.

Selon le milieu, l'onde progressive se propage :

- dans une seule direction (corde, ressort) : onde à **une dimension** ;
- à la surface d'un liquide : onde à **deux dimensions** ;
- dans tout l'espace (son dans l'air) : onde à **trois dimensions**.

Le **front d'onde** est l'ensemble des points du milieu atteints au même instant par le début de la perturbation.

Exemple : Une, deux ou trois dimensions

Une dimension. Une secousse parcourt un tuyau d'arrosage tendu au sol, dans une seule direction.

Deux dimensions. Une rame frappe l'eau calme d'un lac : des rides circulaires s'étalent à la surface. Le front d'onde est un cercle.

Trois dimensions. Le bruit d'un pétard se propage dans tout l'air qui l'entoure. Le front d'onde est une sphère.

Attention : L'onde avance, la matière reste sur place

Ne crois pas que les points du milieu voyagent avec l'onde. Un ruban noué sur un câble tendu monte, puis redescend au passage d'une secousse : il ne suit pas la secousse. La célérité est la vitesse du front d'onde. La vitesse du ruban est une autre grandeur, qui change pendant le passage.

Nature d'une onde : transversale ou longitudinale

Définition : Ondes transversales et ondes longitudinales

Une onde est **transversale** lorsque la direction de la perturbation (déplacement des points du milieu) est perpendiculaire à la direction de propagation. C'est le cas de l'onde qui parcourt une corde tendue.

Une onde est **longitudinale** lorsque la perturbation a la même direction que la propagation. C'est le cas des compressions et dilatations qui parcourent un ressort, et de l'onde sonore dans l'air.

Méthode : Reconnaître la nature d'une onde

1. **Propagation** : repère la direction dans laquelle avance la perturbation.
2. **Perturbation** : observe comment bouge un point du milieu quand l'onde le traverse.
3. **Comparaison** : directions perpendiculaires, l'onde est transversale ; même direction, elle est longitudinale.

Exemple : Deux ondes de natures différentes

Un tuyau secoué. On agite de côté l'extrémité d'un tuyau d'arrosage posé au sol. Chaque point du tuyau bouge perpendiculairement au tuyau : l'onde est transversale.

Une rame de wagons. Une locomotive heurte doucement le premier wagon d'une rame à l'arrêt. Le choc passe de wagon en wagon. Chaque wagon avance un peu le long de la voie, dans la direction de propagation : l'onde est longitudinale.

Attention : Le son, une onde longitudinale

Ne représente pas le son comme une vague qui monte et descend. Dans l'air, chaque tranche d'air avance puis recule autour de sa position d'équilibre, le long de la propagation. Des zones comprimées et des zones dilatées se succèdent. Le son est donc une onde longitudinale.

Célérité : définition, calcul et facteurs

Définition : Célérité d'une onde

La **célérité** d'une onde est la vitesse de propagation de la perturbation dans le milieu. Si le front d'onde parcourt la distance pendant la durée :

—

avec en mètres ( ), en secondes ( ) et en mètres par seconde ( ). Équation aux dimensions : .

La célérité caractérise la propagation de l'onde dans le milieu. Elle ne se confond pas avec la vitesse des points du milieu, qui bougent autour de leur position de repos.

Méthode : Calculer une célérité

1. **Données** : note la distance parcourue par le front et la durée du parcours.
2. **Unités** : convertis en mètres et en secondes.
3. **Calcul** : écris —, remplace, puis donne en .
4. **Chiffres significatifs** : garde autant de chiffres que la donnée la moins précise.

Exemple : Célérité d'un front sur un câble

Sur un câble, le front d'onde parcourt en . On convertit : et .

—

———

Les deux données ont deux chiffres significatifs : le résultat aussi.

Propriété : Facteurs dont dépend la célérité

Dans un milieu homogène, la célérité d'une onde mécanique est **constante** : le front d'onde parcourt des distances égales pendant des durées égales.

La célérité dépend des propriétés du milieu (nature, inertie, rigidité, température) et non de la forme ni de l'amplitude de la perturbation. En particulier :

- sur une corde, elle augmente quand la tension de la corde augmente et diminue quand sa masse linéique — augmente ;
- dans l'air, la célérité du son augmente avec la température.

Exemple : Changer le milieu, pas le geste

Tension. On tend davantage un câble de clôture : une secousse le parcourt plus vite.

Masse linéique. Sous la même tension, un câble plus lourd par mètre transmet la secousse moins vite.

Amplitude. Une secousse deux fois plus haute met la même durée pour parcourir le câble.

Attention : Un geste plus vif ne va pas plus vite

Une confusion classique : croire qu'une secousse plus ample, ou donnée plus fort, se propage plus vite. Tant que la perturbation reste faible, seul le milieu fixe la célérité : sa nature, sa tension, sa température. Pour accélérer l'onde, il faut modifier le milieu.

Remarque : Ordres de grandeur

Sur une corde ou un câble tendu, la célérité va de quelques mètres à quelques centaines de mètres par seconde, selon la tension. Dans l'air, le son parcourt quelques centaines de mètres par seconde. Dans l'eau, il va environ quatre fois plus vite ; dans l'acier, environ quinze fois plus vite.

Retard temporel entre deux points

Propriété : Retard temporel et relation d = v·τ

Une onde progressive se propage à la célérité dans un milieu homogène. Deux points et du milieu, séparés par la distance mesurée le long de la propagation, sont atteints successivement par la perturbation. Le **retard temporel** de sur vérifie :

–

En particulier, un point situé à la distance de la source est atteint avec le retard — sur la source.

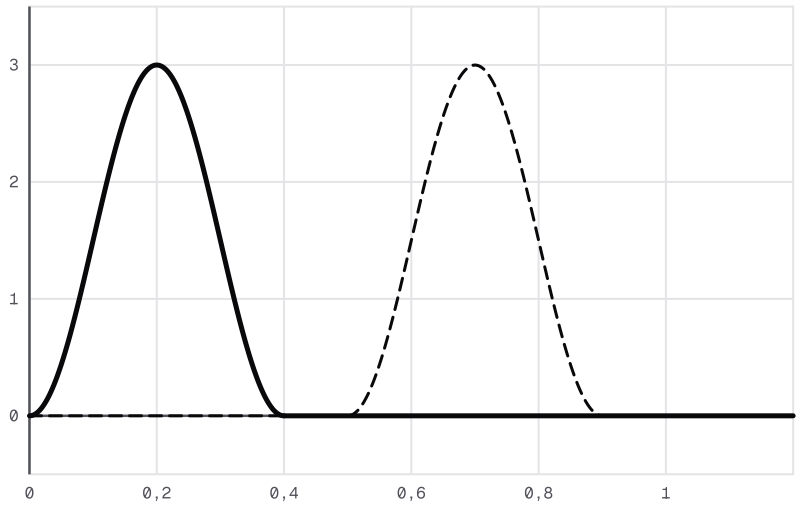
Exemple : Retard d'un point d'un câble tendu

Sur un câble tendu, une secousse avance à . Un point est à de la source .

—

———

Le point reproduit le mouvement de avec ce retard. La figure le montre pour une secousse de .



——— – – –

Signal de la source et signal du point M, décalés du retard

Méthode : Lire un retard sur un oscillogramme

1. **Même détail** : choisis sur les deux voies un même repère, par exemple le début de chaque salve.
2. **Divisions** : compte l'écart horizontal entre ces deux repères, en divisions.
3. **Durée** : multiplie par le balayage , soit , puis convertis en secondes si besoin.

Exemple : Du retard à la célérité

Deux capteurs sont distants de . Sur l'écran, les débuts des deux salves sont séparés de , avec .

Avec et :

–

———————

Attention : Un retard s'exprime en secondes

Ne donne jamais un retard en divisions : n'a de sens qu'avec le balayage . Vérifie aussi la distance employée. Le retard entre deux voies correspond au trajet entre les deux capteurs, pas à la distance de la source à l'un d'eux.

Exemple : Écho : l'aller et le retour

Un randonneur crie face à une falaise et entend l'écho plus tard. Le son, de célérité , fait l'aller et le retour : il parcourt .

La falaise est à environ du randonneur.

Élongation d'un point et aspect du milieu

Propriété : Élongation d'un point du milieu : $y_M(t) = y_S(t - \tau)$

On note l'élongation de la source et celle d'un point du milieu, atteint avec le retard ——. En l'absence d'amortissement, le point reproduit le mouvement de la source avec le retard :

À la date , l'élongation de est celle qu'avait la source à la date . Si la source commence à vibrer à la date , le point reste au repos jusqu'à la date .

Méthode : Dates de mouvement et élongation d'un point

1. **Retard** : calcule —.
2. **Dates** : la source bouge de à ; le point bouge de à .
3. **Élongation** : à la date , cherche l'élongation de la source à la date .

Exemple : Le mouvement d'un point, daté

La source bouge de à . Un point est à , avec .

Le point bouge donc de à . À la date , il a l'élongation qu'avait la source à .

Méthode : Dessiner l'aspect du milieu à une date

1. **Front** : à la date , pour un départ à , le front est à de la source.
2. **Longueur** : la perturbation, de durée , s'étale sur derrière le front.
3. **Ordre** : le début du signal émis est au front ; la fin du signal est du côté de la source.

Exemple : Position du front et longueur de la perturbation

Une secousse de durée part de à , avec . À la date :

La perturbation occupe le milieu entre et .

Attention : Le milieu n'est pas une copie du signal

Ne recopie pas la courbe pour dessiner le milieu. Sur le milieu, ce que la source a émis en premier est le plus loin, au front. Une source qui monte vite puis redescend lentement donne, en partant de la source, une montée lente puis une chute brusque juste avant le front.

Mesurer un retard et une célérité

Méthode : Proposer un montage de mesure

- **Éléments** : une source de signaux brefs, deux récepteurs alignés avec elle, un oscilloscope à deux voies ou une interface d'acquisition, une règle graduée.
- **Branchements** : chaque récepteur est relié à une voie.
- **Protocole** : récepteurs côte à côte, les deux signaux coïncident. On recule le second d'une distance , on lit le retard , puis on recommence pour plusieurs distances.
- **Exploitation** : on trace en fonction de ; la pente de la droite de modélisation est la célérité .

Exemple : Une pente qui donne la célérité

Une série de mesures donne des points alignés sur une droite qui passe par l'origine. La droite de modélisation passe par le point , .

La pente se lit sur la droite, jamais sur un seul point de mesure.

Remarque : Précautions pour mesurer un retard

Aligne la source et les deux récepteurs : sinon, la distance parcourue n'est pas . Choisis des distances assez grandes : une même erreur de lecture pèse alors moins sur le retard. Règle le balayage pour que les deux signaux tiennent sur l'écran.

Choisir la bonne relation

Méthode : Quelle méthode pour quelle question ?

- **Onde mécanique ?** Un milieu matériel, une perturbation qui se propage, aucun transport de matière.
- **Nature de l'onde** : compare la direction de la perturbation et celle de la propagation.
- **Célérité** : —, en unités du système international.
- **Retard entre deux points** : –.
- **Écho** : l'onde fait l'aller et le retour, .

- **Oscillogramme** : .
- **Mouvement d'un point** : , dates décalées de .
- **Aspect du milieu** : front à , perturbation de longueur .
- **Série de mesures** : en fonction de , pente égale à .

Célérité —	**Dimension**
Retard	**Élongation d'un point**
Position du front	**Longueur de la perturbation**
Écho	**Oscillogramme**

À retenir : Rédiger une application numérique

Écris d'abord la relation littérale, puis les valeurs avec leurs unités, puis le résultat. Convertis avant de calculer : kilomètres en mètres, millisecondes en secondes. Donne le résultat avec son unité ; pour l'arrondi, la donnée la moins précise fixe le nombre de chiffres significatifs. Une lecture graphique s'écrit avec .