Ondes progressives

Son	nmaire				
I Introduction	 				
I/A Signal					
I/B Perturbation					
I/C Onde					
I/D Perturbation et propagation					
II Onde progressive à une dimension					
II/A Définition					
II/B Représentation spatiale et célérité des	ondes				
II/D Lien entre les représentations					
III Onde progressive sinusoïdale					
III/A Double périodicité spatiale et temporelle					
III/B Expression mathématique de l'onde pro	ogressive sinusoïdale 8				
III/C Vitesse de phase					
IV Milieux dispersifs					
42 ~					
Capacité	és exigibles				
☐ Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique.				
Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent.	\bigcirc Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $f(x+ct)$, et sous la forme $g(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$.				
 Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Modèle de l'onde progressive sinusoïdale uni- 	Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.				
dimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.				
Définir un milieu dispersif. Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.	Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.				

✓ L'e	essentiel
■ Définitions	Applications
	 ○ ON1.1 : Vague en représenta° spatiale . 5 ○ ON1.2 : Vague en représenta° temporelle 6 ○ ON1.3 : Double périodicité d'une OPS 9
○ ON1.5 : Retard d'une onde	
None None	Points importants ON1.1: Représentation spatiale 4 ON1.2: Représentation temporelle 6 ON1.3: Lien entre représentations 7 ON1.4: Longueur d'onde d'une OPS . 8 Erreurs communes ON1.1: Vers la droite ou vers la gauche? 7 ON1.2: Faux-ami 9

I. Introduction 3

I | Introduction

I/A Signal



On appelle **signal** une grandeur physique mesurable pouvant varier dans le temps et qui transporte une information.



- ♦ Signal **sonore** : voix, instrument de musique ;
- ♦ Signal sismique;
- ♦ Signal électrique...

La notion de signal **dépend de l'observation**. Par exemple, la découverte des ondes radios était perturbée par le premier signal lumineux de l'Univers, le fonds diffus cosmologique : il baigne la totalité de l'Univers et est fondamental dans la cosmologie, mais peut être parasite selon l'objectif.

I/B Perturbation



Une **perturbation** est une modification locale et temporaire des propriétés d'un milieu.



- ♦ Jet d'un caillou dans un lac;
- ♦ Séisme;
- ♦ Déplacement de la membrane d'un haut-parleur...

Une perturbation, quand elle est créée, se propage autour d'elle de proche en proche : chaque point impacté va subir des modifications temporaires similaires à celle de la source. Après le passage de cette perturbation, chaque point retrouve sa position initiale.

$oxed{I/C}$ Onde





Certaines ondes ont besoin d'un milieu matériel pour se propager : ce sont les ondes **mécaniques**. Les ondes sismiques, les ondes dans la corde ou les ondes sonores en sont des exemples. Certaines ondes peuvent se propager dans le vide, comme les ondes **électromagnétiques**. Les infrarouges, la lumière visible ou les micro-ondes sont des exemples d'ondes électromagnétiques.



Exemple ON1.1: Ondes

- ♦ Lorsqu'on secoue l'extrémité d'une corde tendue, les positions des différents points sont modifiées. Une fois l'onde passée, les points retrouvent leur position initiale.
- ♦ Le caillou dans le lac forme des **rides qui s'éloignent** du point d'impact, mais il n'y a pas de mouvement d'ensemble du fluide.
- ♦ La membrane du haut-parleur, lors de son déplacement elle provoque une brève **compression-dilatation** de l'air qui la touche. Cette propagation se déplace ensuite dans l'air : ce sont les ondes sonores. Elles peuvent aussi se déplacer dans les liquides et dans les solides.

I/D Perturbation et propagation

			٠	
	-	_	-	
				,
Ĺ				

♥ Définition ON1.2 : Transversale et longitudunale

- \diamond Onde transversale 1 :
- ♦ Onde longitudunale²:



Exemple ON1.2: Transversales et longitudunales

♦ Longitudinales :

♦ Transversales :

II Onde progressive à une dimension

II/A Définition



♥ Définition ON1.3 : Onde progressive à une dimension

- ♦ Progressive :
- \diamond **À** une dimension :

 \triangleright

 \triangleright



Exemple ON1.3: Ondes et dimensions

- ♦ 1D :
- \wedge 2D
- \diamond 3D :

II/B Représentation spatiale et célérité des ondes



Important ON1.1: Représentation spatiale

Dans une représentation **spatiale**, on regarde à un **temps fixé** la perturbation dans **tout l'espace**; on parle également de représentation **photographique**³.

FIGURE ON1.1 – Exemple représentation spatiale

- 1. https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/onde_transversale.php
- 2. https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/onde_longitudinale.php
- 3. https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/retard.php

Lorsqu'une onde se propage, on peut définir une **vitesse de propagation de la perturbation**. Pour la distinguer de la vitesse d'un point matériel, on emploi plutôt le terme **célérité**. Par convention, celle-ci est toujours positive.



Définition ON1.4 : Célérité

La célérité c d'une onde est le quotient de la distance d parcourue par la perturbation, sur l'intervalle de temps Δt que dure ce parcours :

Exemple ON1.4 : Célérité

Sur le schéma précédent,

En première approximation, la célérité ne dépend pas de la perturbation mais seulement de la nature et des propriétés du **milieu**.



Ordre de grandeur ON1.1:

Tableau ON1.1 – Ordres de grandeur de célérité à connaître

Signal Célérité

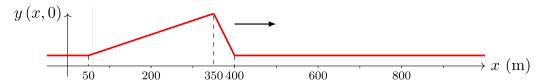
Ondes électromagnétiques
Son dans l'air (20 °C, 1 bar)
Son dans les métaux
Son dans l'eau



♥ Application ON1.1 : Vague en représenta° spatiale

On considère ici une vague solitaire qui se déplace à la vitesse $c = 18 \,\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction du sens de sa propagation.

À l'instant t=0, le profil du niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :



Faire un schéma du profil du fleuve à $\tau=1$ min en supposant que l'onde se propage sans déformation.

FIGURE ON1.2 – Vague solitaire à $\tau = 1 \min$

II/C Représentation temporelle et retard



Important ON1.2: Représentation temporelle

Dans une représentation **temporelle**, on regarde à un **endroit fixé** la perturbation **sur sa durée**. Voir cette animation ⁴.



Définition ON1.5 : Retard d'une onde

La grandeur τ est le **retard** du point M' par rapport au point M :

avec c la célérité de l'onde.

En effet, en créant à l'instant t=0 une déformation à un endroit M, cette perturbation se propage le long de l'axe corde avec une célérité c. Elle parvient donc en un point M' après le temps τ .



♥ Application ON1.2 : Vague en représenta° temporelle

On reprend l'exemple de la vague précédente.

- 1) À quel instant la vague arrive-t-elle au point d'abscisse $x_1 = 2.2 \,\mathrm{km}$?
- 2) Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1.6 \text{ km}$. Dessiner l'allure des variations $y(x_d, t)$ en fonction du temps à cette abscisse.

FIGURE ON1.3 – Vague solitaire en représentation temporelle.

II/D Lien entre les représentations

Nous avons vu deux représentations graphiques différentes, une selon l'espace et une selon le temps. En réalité, le signal d'une onde est une fonction de **deux** variables :

y(x,t)

Pour obtenir l'une au l'autre des représentations, on fixe l'une des variables. Une animation sur les représentations temporelles et spatiales est disponible au lien suivant : https://www.geogebra.org/m/RkmRF9M6

^{4.} https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/evolution_temporelle.php



Démonstration ON1.1 : Lien entre représentations

Depuis représentation spatiale

L'onde observée à t=0 se déplace vers la droite. À l'instant t, elle est décalée vers la droite de : la valeur de y(x,t) en x et à l'instant t était en x-ct à l'instant t=0, soit :

On note alors f(x) = y(x,0): c'est la représentation spatiale de l'onde à t = 0. On a alors

Depuis représentation temporelle

Lorsqu'une onde se propage sans atténuation ni déformation, les valeurs observées en x=0 au cours du temps sont aussi observées en x > 0 mais avec un retard lié à la propagation. La valeur de y(x,t) en x à l'instant t était en x=0 plus tôt, à $\overline{\text{l'instant }t}-x/c$. Ainsi,

La fonction y(0,t) est la hauteur de la perturbation en x=0 à l'instant t: c'est la perturbation imposée par la source. On la note alors g(t) = y(0,t): c'est la représentation temporelle de l'onde à x = 0. On a alors



Important ON1.3 : Lien entre représentations

La représentation spatiale en t₀ est le graphique de la fonction:

La représentation **temporelle en x_0** est le graphique de la fonction:



Attention ON1.1 : Vers la droite ou vers la gauche?

Vous ferez bien attention, à défaut de travailler votre intuition pour comprendre que f(x-ct)est une onde se propageant vers la droite, à ne pas penser « signe moins donc vers la gauche »!

Vers la gauche

Vers la droite



III | Onde progressive sinusoïdale



Définition ON1.6 : Onde progressive sinusoïdale

Une onde progressive est dite **sinusoïdale** si la source impose une **perturbation sinusoïdale** :

III/A Double périodicité spatiale et temporelle

(

Observation ON1.1: Animation Geogebra

1)

2)

3)



♥ Définition ON1.7 : Périodicités

Périodicité temporelle

Si la perturbation créée en S est sinusoïdale avec une période T, alors l'onde en M l'est également (il n'y a qu'un retard entre les deux dû à la propagation).

Périodicité spatiale

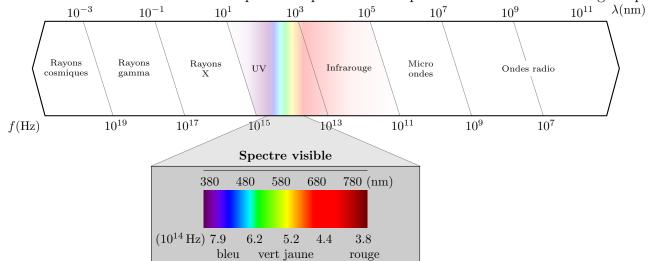
Au moment de l'émission du deuxième maximum, le premier maximum a déjà parcouru une distance cT. L'écart spatial entre deux maximum successifs est la période spatiale.



Important ON1.4: Longueur d'onde d'une OPS

Une onde progressive sinusoïdale présente à la fois une périodicité spatiale, nommée **longueur** d'onde et notée λ , et une périodicité temporelle, notée T. Elles sont reliées par la relation

Cette relation est celle donnant les périodes spatiales et temporelles des ondes électromagnétiques :



III/B Expression mathématique de l'onde progressive sinusoïdale



Propriété ON1.1 : Forme générale d'une OPS

L'expression générale d'une onde progressive sinusoïdale se propageant vers la droite sans déformation ni atténuation est :



Définition ON1.8 : Vecteur d'onde

Comme pour la fréquence et la pulsation, on relie la longueur d'onde à une autre grandeur permettant une expression simple dans une fonction sinusoïdale : le vecteur d'onde k, tel que



💙 Attention ON1.2 : Faux-ami

Sous cette forme, le vecteur d'onde n'est pas un vecteur!! C'est vraiment un vecteur quand on travaille en trois dimensions d'espace.



💙 Démonstration ON1.2 : Forme générale d'une OPS

On s'intéresse à un mouvement vers la droite. Par définition, la perturbation g(t) imposée en x = 0 est un signal sinusoïdal :



♥ Application ON1.3 : Double périodicité d'une OPS

Soit un signal s(x,t) double-périodique. Montrer que $s(x+\lambda,t)=s(x,t)$.



III/C Vitesse de phase

Soit une onde progressive sinusoïdale. La phase de l'onde est, par définition, le terme à l'intérieur de la fonction : $\omega t - kx + \varphi$. Cette phase varie spatialement et temporellement, de manières corrélées.



Définition ON1.9 : Vitesse de phase

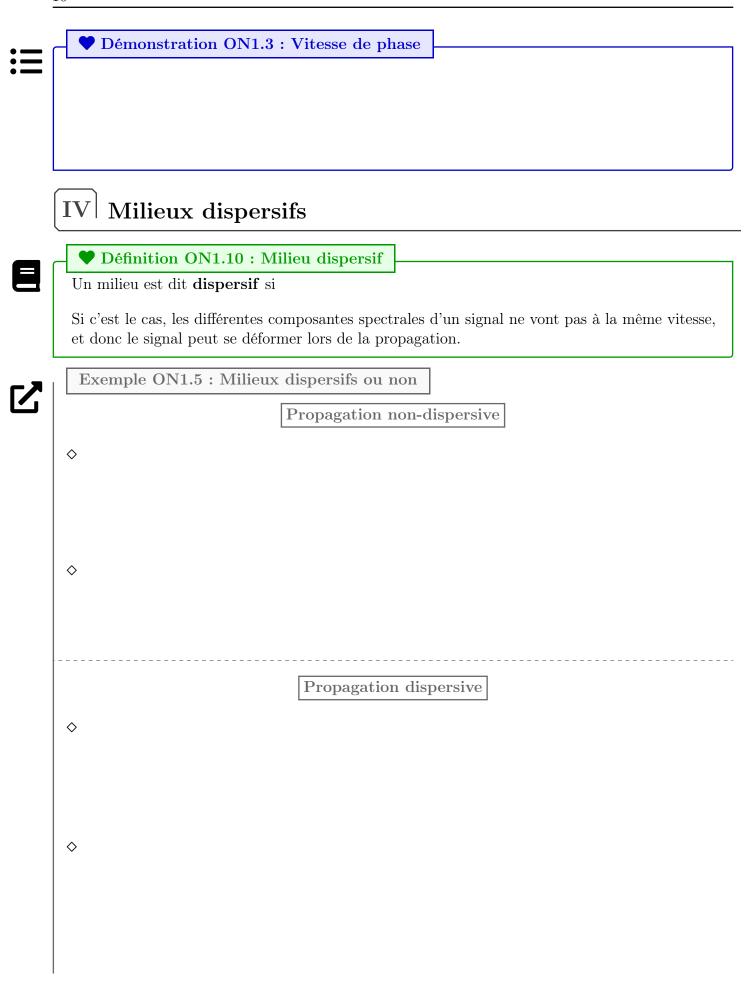
Si on trouve une phase mesurée en x_1 à l'instant t_1 , le signal aura la même phase en x_2 à un instant t_2 donnés par la vitesse de phase, notée v_{φ} , telle que :

Unité



Propriété ON1.2 : Vitesse de phase

Pour une OPS, on a



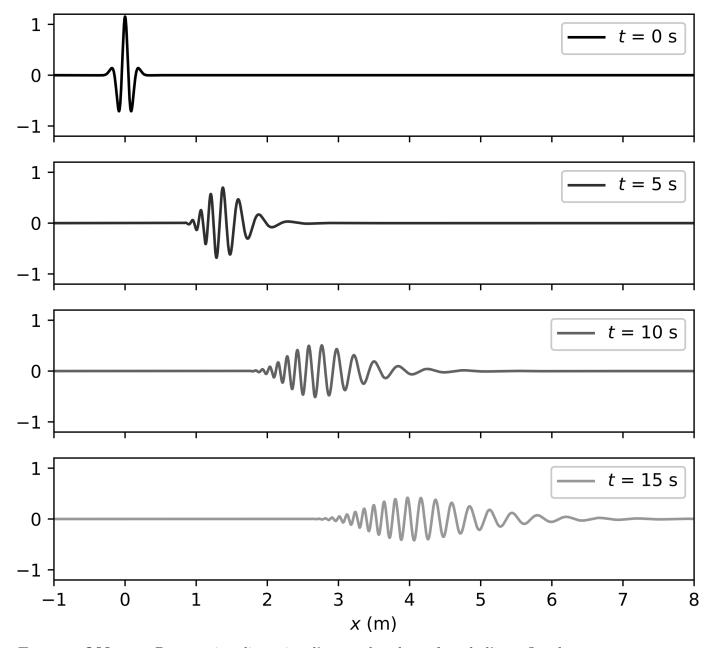


FIGURE ON1.4 — Propagation dispersive d'une onde à la surface de l'eau. On observe nettement que les composantes sinusoïdales de hautes fréquences se propagent avec une moins grande vitesse que les composantes de basses fréquences. En ordonnée, l'unité de la hauteur d'eau est arbitraire.