

Support de cours

Cours:

UNIL-123 Physique Expérimentale II

Vidéo:

Lesson5-UNIL-123 Physique expérimentale II

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

Propriétés typiques des ondes. Système de l'anti convergente. Dernière fois. Petit conduit latoire. Niveau physique. Lentille convergente. Distance focale. Petite distance focale. Type de question. Pouvoir. Passage de l'onde. Mouvements périodiques. Onde. Grande distance focale. Premières semaines.



[vers la recherche de séquences vidéo](#)
(dans UNIL-123 Physique Expérimentale II.)



[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>
page 1/118

Feedback 3ème semaine

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuisson

11 mars 2025

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

1 / 11

Et puis on va commencer le petit condulateiro.

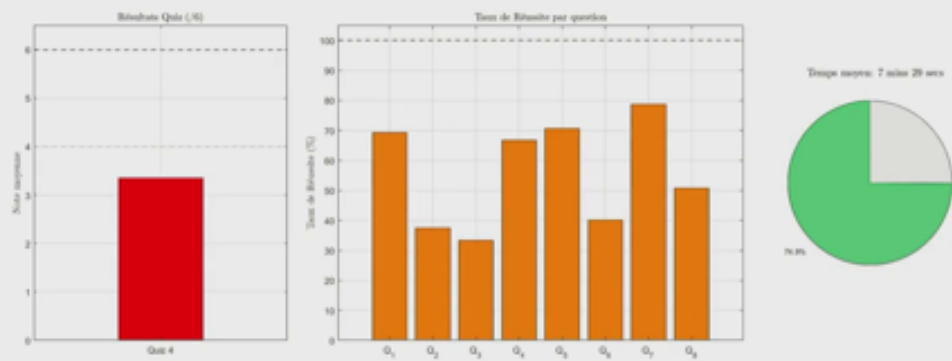
notes

résumé

0m 4s



Résultat du quizz



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

2 / 11

Donc aujourd'hui, on va surtout découvrir ce qu'est une onde et les propriétés typiques des ondes.

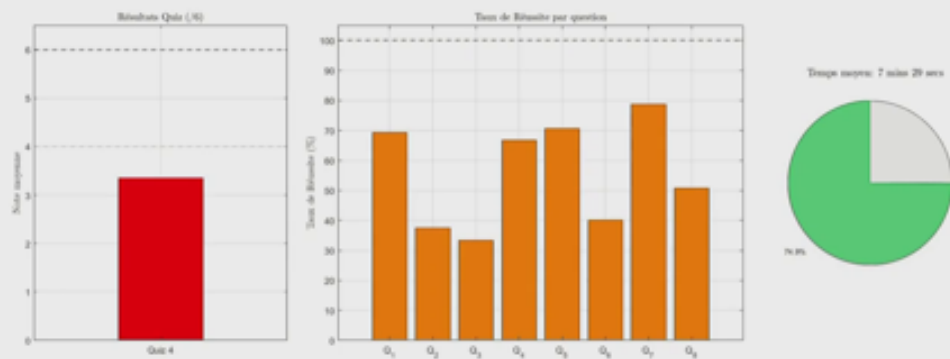
notes

résumé

0m 35s



Résultat du quizz



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

2 / 11

Avant, comme chaque fois, je voulais revenir sur les exercices de la semaine passée, principalement le quizz.

notes

résumé

0m 38s

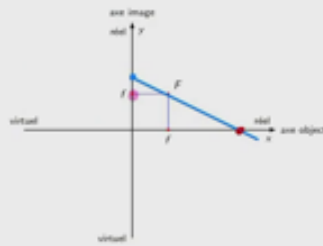


La question 2

Une lentille convergente est montée sur un banc d'optique et on place devant elle une bougie. Son image est nette sur un écran situé à une distance de $1.5 f$ au-delà de la lentille. Où l'objet est-il placé?

- ☐ a. L'objet est placé proche de l'infini.
- ☐ b. L'objet est placé à une distance $d < f$.
- ☐ c. Aucune des autres réponses proposées.
- ☐ d. L'objet est placé au-delà de $2f$.
- ☐ e. L'objet est placé entre f et $2f$.

Vérifier



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

3 / 11

Alors voilà, le résultat est un peu moins bon que les autres semaines.

notes

résumé

2m 1s



La question 3

Une lentille convergente de très petite distance focale est accollée à une lentille convergente de très grande distance focale. Que peut-on dire de la distance focale de l'ensemble?

- ☐ a. La distance focale de l'ensemble est approximativement égale à plus petite distance focale des deux lentilles
- ☐ b. La distance focale de l'ensemble est approximativement égale à plus grande distance focale des deux lentilles
- ☐ c. La distance focale de l'ensemble est beaucoup plus petite que la distance focale de chacune des lentilles
- ☐ d. La distance focale de l'ensemble est beaucoup plus grande que la distance focale de chacune des lentilles
- ☐ e. Aucune des autres réponses proposées

La formule générale de conjugaison est :

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad (1)$$

L'énoncé dit que les lentilles sont accollées, donc $d = 0$ et

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (2)$$

Avec $f_1 \ll f_2$, on écrit $f_2 = x f_1$ avec $x \gg 1$, donc

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{x f_1} = \frac{1}{f_1} \left(1 + \frac{1}{x} \right) \approx \frac{1}{f_1} \quad (3)$$

Peut-être que les questions étaient un peu plus compliquées.

notes

résumé

4m 6s



La question 3

Une lentille convergente de très petite distance focale est accollée à une lentille convergente de très grande distance focale. Que peut-on dire de la distance focale de l'ensemble?

- ☐ a. La distance focale de l'ensemble est approximativement égale à plus petite distance focale des deux lentilles
- ☐ b. La distance focale de l'ensemble est approximativement égale à plus grande distance focale des deux lentilles
- ☐ c. La distance focale de l'ensemble est beaucoup plus petite que la distance focale de chacune des lentilles
- ☐ d. La distance focale de l'ensemble est beaucoup plus grande que la distance focale de chacune des lentilles
- ☐ e. Aucune des autres réponses proposées

La formule générale de conjugaison est :

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad (1)$$

L'énoncé dit que les lentilles sont accolées, donc $d = 0$ et

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (2)$$

Avec $f_1 \ll f_2$, on écrit $f_2 = x f_1$ avec $x \gg 1$, donc

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{x f_1} = \frac{1}{f_1} \left(1 + \frac{1}{x} \right) \approx \frac{1}{f_1} \quad (3)$$

Donc vous vous y fiez pas.

notes

résumé

6m 0s



La question 6

Quel instrument optique utilise un système de lentilles convergentes ?

- ☐ a. La loupe
- ☐ b. Le microscope
- ☐ c. Le télescope

Le mot critique est système

- La loupe est constitué d'une seule lentille convergente : ce n'est pas un système de lentilles convergentes.
- Le microscope optique est constitué de deux lentilles convergentes : c'est un système de lentilles convergentes.
- Le télescope est constitué d'un miroir sphérique, d'un miroir plan et d'une lentille convergente : ce n'est pas un système de lentilles convergentes.

Navigation icons

M. Fürbringer, G. Vittorangi, M. Dubuis

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

5 / 11

Moi, je ne fais pas non plus des questions qui sont normalisées. Donc je ne peux pas vous prétendre que vous êtes moins bons que les autres semaines. Mais voilà, il y a des questions qui commencent. La théorie avançant, ça permet de faire des questions plus complexes aussi. Donc c'est aussi peut-être ça. Dans les premières semaines, c'était plus d'excuser moi l'expression, des attrapes négatives. C'était de temps en temps juste des questions comme ça pour vous entraîner en question. Là, on commence à pouvoir faire des questions un petit peu plus au niveau physique, un petit peu plus exigeante. Je vais revenir sur la question 2, 3 et 6, comme je fais chaque fois, avec les questions qui ont créé plus de problèmes. Le temps utilisé.

notes

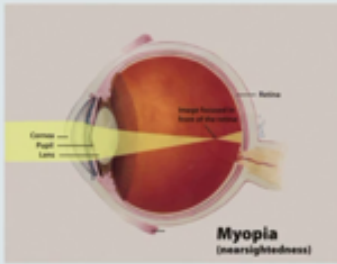
résumé

7m 17s



La question 8

Comment un système de lentilles peut-il être utilisé pour corriger la vision d'une personne atteinte de myopie ?



Le problème de la myopie est que la distance focale est trop petite, donc la vergence trop grande, il faut la diminuer avec une lentille divergente (dont la vergence est négative par définition)

- ☐ a. En utilisant une lentille divergente pour augmenter la longueur focale de l'œil.
- ☐ b. En utilisant une lentille divergente pour diminuer la longueur focale de l'œil.
- ☐ c. En utilisant une lentille convergente pour augmenter la longueur focale de l'œil.
- ☐ d. En utilisant une lentille convergente pour diminuer la longueur focale de l'œil.

J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

6 / 11

Alors, on m'a dit que 10 minutes étaient un peu court. Je suis d'accord de passer à 15 minutes. Il faut juste que je le fasse, mais je suis d'accord de passer à 15 minutes. Et puis là, vous n'avez pas mis plus de temps que les autres semaines. C'est que là, on a commencé à calculer le temps comme il faut. Les autres semaines, il y avait une erreur dans notre calcul du temps. Si vous retournez sur les slides du Moodle, le temps maintenant a été mis correctement. Donc c'est pour ça que, avec des minutes, je ne me faisais aucun souci. Parce que j'ai l'impression que vous n'utilisez même pas un tiers du temps. En fait, oui, oui, vous utilisez quand même une certaine partie du temps. Alors, revenons sur les questions. Donc là, c'était une lentille convergente et montée sur un banc optique et on place devant elle une bougie.

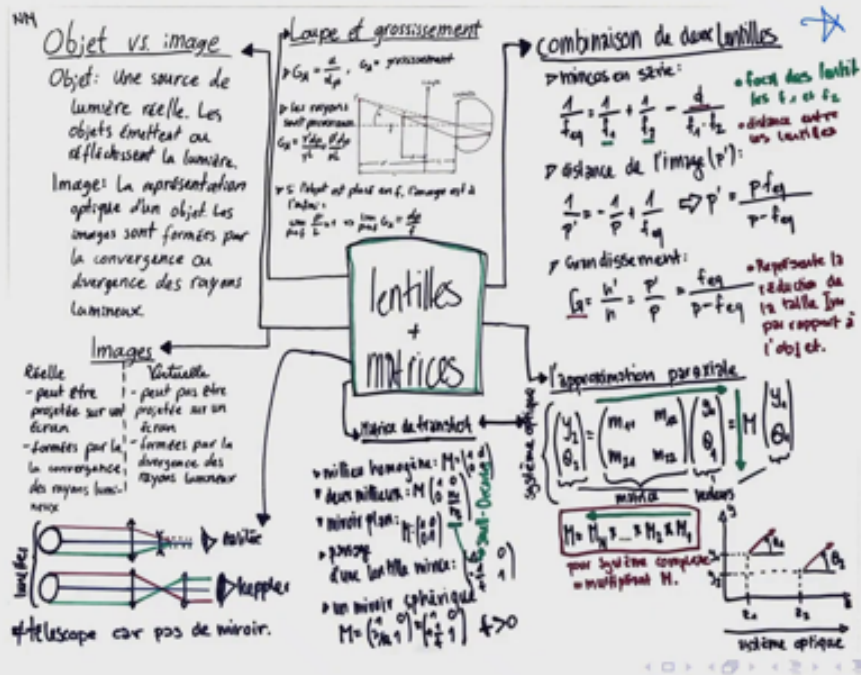
notes

résumé

8m 41s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

7/11

Son image est net sur un écran situé à une distance de 1,5 fois la distance focale

notes

résumé

9m 35s



Objet vs. image

Objet: Une source de lumière réelle. Les objets émettent ou réfléchissent la lumière.

Image: La représentation optique d'un objet. Les images sont formées par la convergence ou divergence des rayons lumineux.

Loupe et grossissement

$p_{GA} = \frac{d}{d_p}$ $G_A = \text{grossissement}$

Les rayons sont parallèles $G_A = \frac{f_{\text{œil}}}{p}$

$p \leq f_{\text{œil}}$ est placé au p.c. l'image est à l'infini $\lim_{p \rightarrow 0} G_A \rightarrow \infty$ pas $G_A = \frac{d}{p}$

Combinaison de deux lentilles

Principes en série:

- $\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$
 - facile des lentilles les f_1 et f_2
 - distance entre les lentilles

Distance de l'image (p'):

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f_{eq}} \Leftrightarrow p' = \frac{p \cdot f_{eq}}{p - f_{eq}}$$

Grossissement:

$$G = \frac{h'}{h} = \frac{p'}{p} = \frac{f_{eq}}{p - f_{eq}}$$

- représente la réduction de la taille l'im par rapport à l'obj. et.

Images

Réelle

- peut être projetée sur un écran
- formée par la convergence des rayons lumineux

Virtuelle

- peut pas être projetée sur un écran
- formée par la divergence des rayons lumineux

Lentilles + Mirroirs

Matrice de transfert

Matrice homogène: $M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

deux lentilles: $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

miroir plan: $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

lentille mince: $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

miroir sphérique: $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Approximation paraxiale

$\begin{pmatrix} y_2 \\ \theta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ \theta_1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} y_1 \\ \theta_1 \end{pmatrix}$

Matrice $M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ pour système complexe = multiplication M.

Le télescope car pas de miroir.

au-delà de la lentille. Où l'objet est-il placé ? Pour répondre à ces questions, le plus simple, c'est de faire un schéma de l'issajout, comme ce que j'ai fait à côté. Donc vous avez voyé où est la focale. Donc sur l'image, le point focal est là. Donc je me suis placé à 1,5. Donc ça veut dire que je suis ici. Le problème est résolu. Voilà, non, c'est droit.

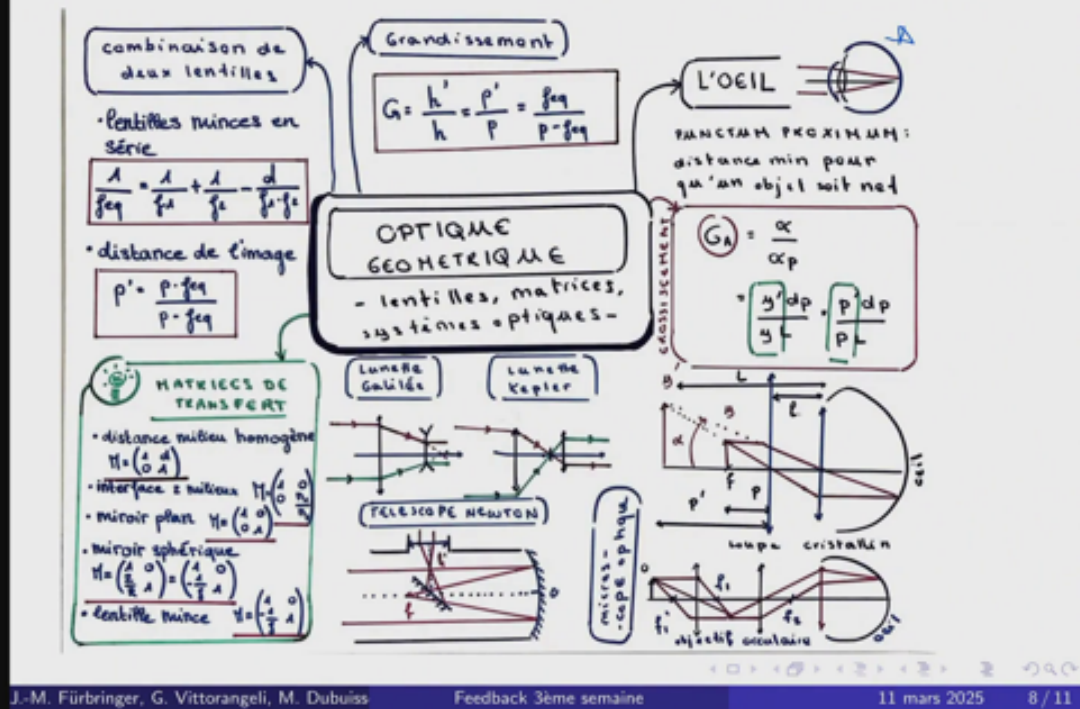
notes

résumé

9m 38s



Mind map



Désolé, il a fait une commesse, une droite, etc.

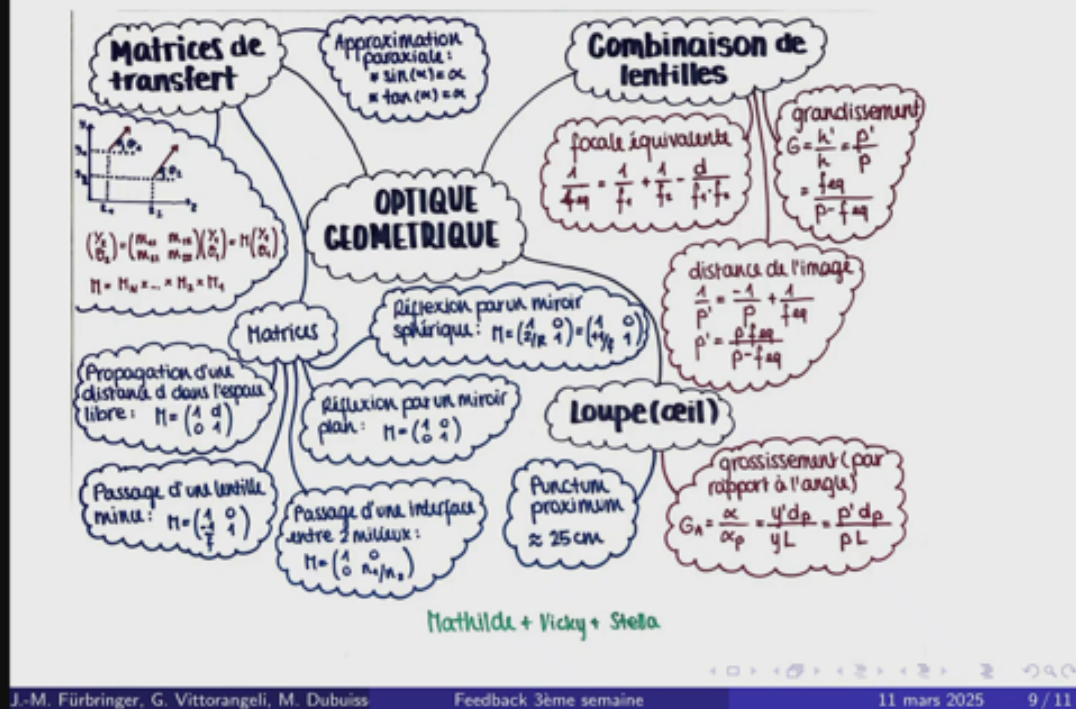
notes

résumé

10m 12s



Mind map



Donc vous voyez qu'il est...

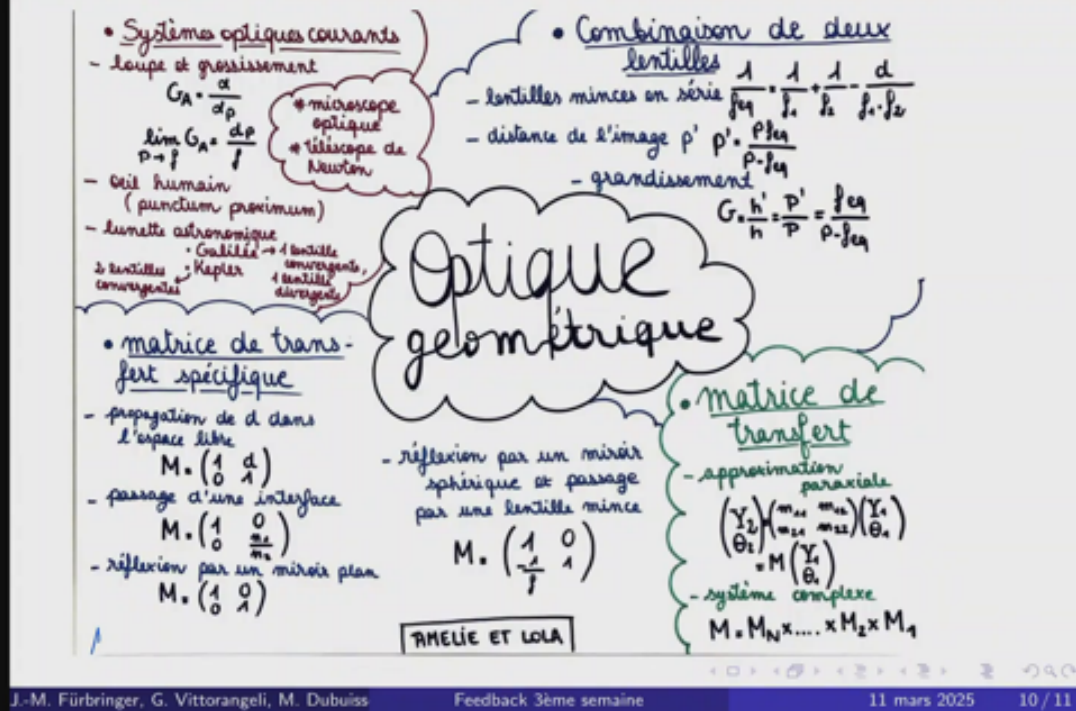
notes

résumé

10m 14s



Mind map



après, c'était ce que j'étais avant, après deux fois la focale, etc.

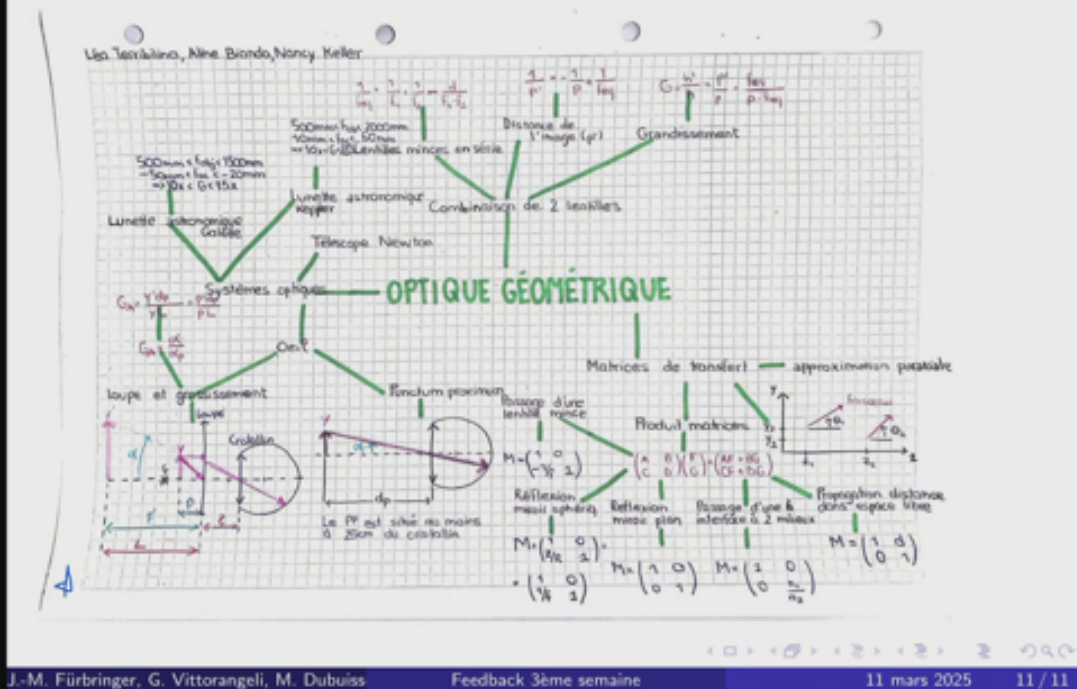
notes

résumé

10m 35s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangi, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

11 / 11

Donc en fait, la bonne réponse, c'était l'objet est placé au-delà de deux fois la focale,

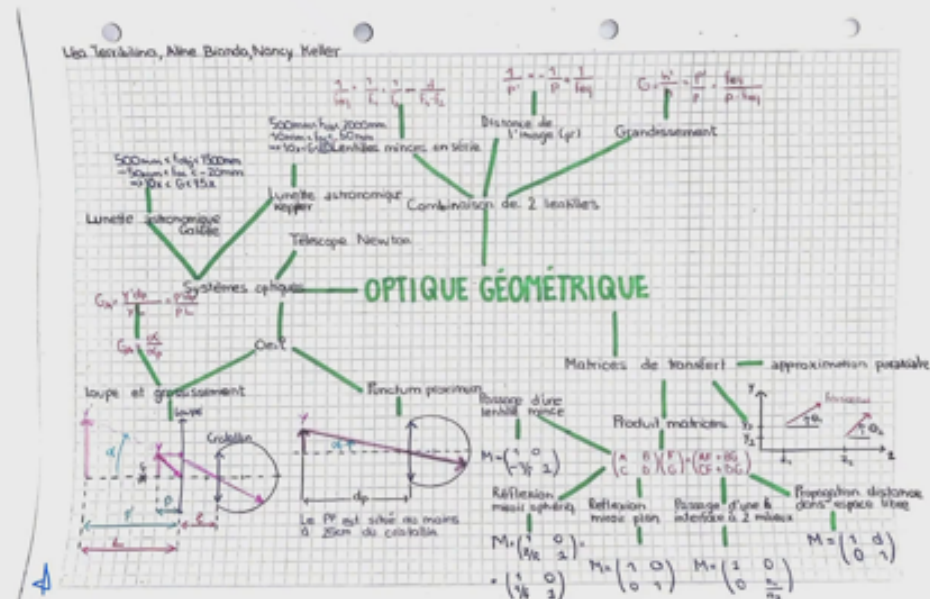
notes

résumé

10m 37s



Mind map



J.-M. Fürbringer, G. Vittorangeli, M. Dubuiss

Feedback 3ème semaine

11 mars 2025

11 / 11

parce qu'il est placé à trois fois la focale. Vous voyez que pour y répondre, c'était très très simple. Vous pouvez aussi prendre la loi de décarte, mais voilà, ça vous obligeait un petit peu à faire le calcul et à regarder. Là, ce dessin de l'issajout, honnêtement, pour répondre à ce type de question,

notes

résumé

10m 52s



2.4.1 Polarisation - objectifs pédagogiques

- Expliquer le sens physique de la polarisation de la lumière et présenter les concepts qui lui sont liés.
- Comprendre comment la lumière peut être polarisée
- Comprendre et appliquer la loi de Malus
- Comprendre et appliquer la loi de Brewster



quand vous avez trois éléments, une focale, une distance d'objet, une distance d'image, c'est vraiment faire le dessin, c'est déjà quasiment irrépandant. Ensuite, cette question était un petit peu compliquée.

notes

résumé

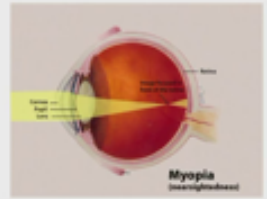
11m 9s



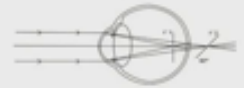
1.7.2 Correction optique : Myopie, Astigmatisme et Presbytie

Myopie

- Définition : L'image se forme **devant** la rétine.
- Cause : Œil trop long ou cornée trop courbée.
- Correction : **Verres concaves** (divergents).



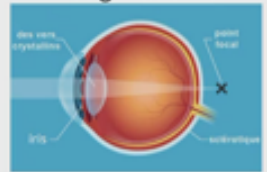
Myopie



Astigmatisme

- Définition : L'image est déformée à cause d'une **asymétrie de la cornée**.
- Cause : Cornée plus courbée dans une direction.
- Correction : **Verres cylindriques** (toriques).

Astigmatisme



Presbytie

Presbytie

- Définition : Perte progressive de la capacité d'accommodation du cristallin.
- Cause : Vieillesse du cristallin, perte d'élasticité.
- Correction : **Verres convexes** (convergeurs), verres progressifs.

Donc je ne suis pas plus surpris que ça, qu'elle ait été un peu une trappe pour un certain nombre d'entre vous. Une lentille convergente de très petite distance focale est accolée à une distance, à une lentille convergente de très grande distance focale. Que peut-on dire de la distance focale de l'ensemble ? Donc, on peut partir de la loi de conjugaison des lentilles, qui était donnée dans le cours, comme on dit, qu'elle est accolée. J'espère que ça n'a pas été un problème de comprendre pour ce qui n'était pas de langue française. Donc ça veut dire que ce terme-là tombe, ça veut dire que je n'ai pas de distance entre les deux lentilles, les deux lentilles sont l'une collée à l'autre. Donc en fait, c'était juste la somme des vergences. Et puis on vous dit qu'il y en a une qui est beaucoup plus grande que l'autre. Quand vous avez ce type de problème, en général, ce qu'on fait,

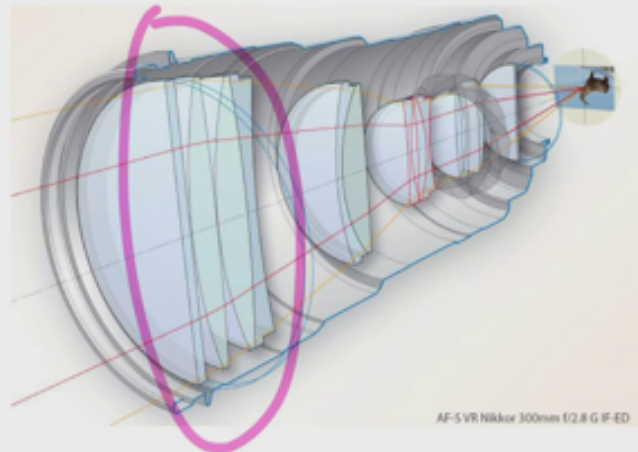
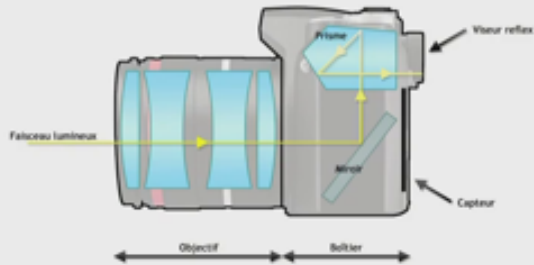
notes

résumé

11m 29s



1.7.12 Systèmes optiques complexes



c'est qu'on exprime une en fonction d'un produit de l'autre. Donc là, l'idée, c'était de dire, puisque c'est comme ça, je peux dire que c'est $F1$ qui est la plus petite. Donc ça veut dire que $F2$, ça va être un certain nombre de fois $F1$. Puis là, je mets une valeur X en pensant que cette valeur X , elle est grande. Donc ensuite, je réécris ma loi, mais j'ai plus qu'une seule inconnue. Je peux mettre 1 sur $F1$ en évidence. Et puis j'ai ici un terme 1 plus 1 sur $F1$.

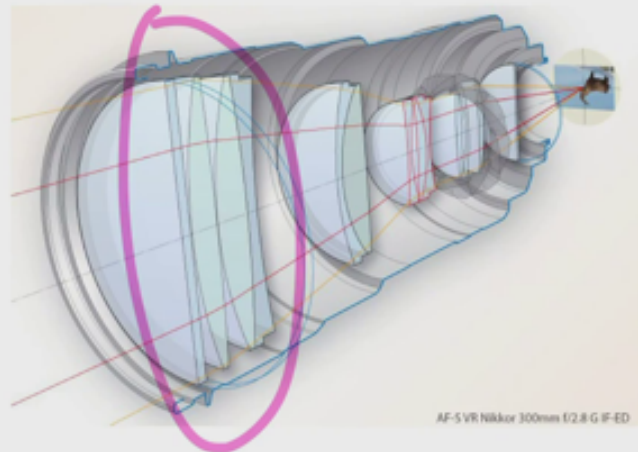
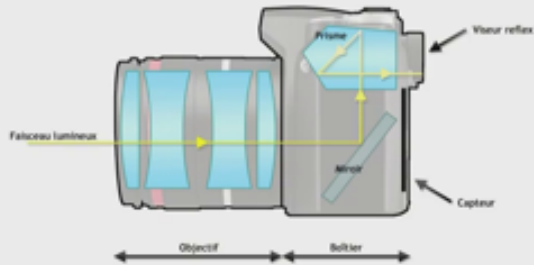
notes

résumé

12m 35s



1.7.12 Systèmes optiques complexes



Et puis 1 sur... Pardon. 1 plus 1 sur X. Puis on dit justement que X était très grand.

notes

résumé

13m 22s



3 Lentille convergente + ménisque divergent

1.7.1

pourquoi combiner ces deux lentilles ?

Réduction de la taille physique du système : Obtention d'une longue focale sans optique encombrante.

Augmentation de la focale effective : Allonge la distance focale tout en gardant un système compact.

Correction des aberrations : Compensation des déformations introduites par la lentille convergente.

Utilisation en téléobjectifs : Essentiel dans la conception des téléobjectifs modernes.

Vous voyez quand X va grandir, le 1 sur X va devenir de plus en plus petit, il va disparaître. Donc ça veut dire qu'il reste plus qu'à $F1$. Ça veut dire que si vous mettez une l'anti avec une très petite distance focale, associée avec une très grande distance focale, c'est la petite qui va gérer l'histoire, ça va suivre la petite. Voilà. Donc ça vous permettait de découvrir un petit peu de choses. Juste cette loi de mettre ensemble une petite et une grande l'anti, enfin une l'anti de grande distance focale et de petite distance focale, ce que j'appelle une grande et une petite l'anti. Et puis aussi cette méthode quand on vous demande de comparer les choses, d'essayer d'arriver à éliminer une des variables en la représentant par une fraction de l'autre ou une multiplication de l'autre, etc. Pour avoir un problème qui devient avec une seule variable, au lieu d'avoir deux variables qu'on ne sait pas comment gérer. Et puis après, c'était une question, c'est pas non plus une question absolument extraordinaire. Je voulais poser la question dans quelle de ces instruments d'optique

notes

résumé

13m 27s



1.7.14 Matrices du système optique

Matrices sous forme littérale

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Lentille convergente})$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Espace libre})$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ménisque divergent})$$

lentille

Matrices avec valeurs numériques

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0.01 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 30 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.02 & 1 \end{bmatrix}$$

est constituée d'un système de l'anti convergente. Alors la loop, il y a une seule l'anti, donc on ne parle pas d'un système. C'est une l'anti. Quand on parle d'un système de l'anti, c'est qu'il doit y en avoir au moins deux. Autrement, on ne parle pas de système de l'anti. Donc c'est en tout cas pas la loop. Le microscope, il est réellement constitué par deux lentilles qui sont convergentes. Donc ça, c'était la bonne réponse. Et puis le télescope, ça, c'était plus une question de, je ne sais pas comment c'est dans votre tête, une question de vocabulaire. Donc j'ai précisé la dernière fois, normalement, pour, des fois, on dit le télescope de Galilé, le télescope de Kepler, on ne devrait pas dire ça. C'est des lunettes astronomiques. Donc quand on parle de télescope, c'est qu'il y a un miroir, je l'avais précisé dans le cours. Donc il y a juste un miroir et en général, à moins d'avoir un système beaucoup plus compliqué,

notes

résumé

14m 45s



1.7.14 Matrices du système optique

Matrices sous forme littérale

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Lentille convergente})$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Espace libre})$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ménisque divergent})$$

lentille

Matrices avec valeurs numériques

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0.01 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 30 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.02 & 1 \end{bmatrix}$$

mais le système de base, il y a une l'anti convergente pour le cul air. Donc en fait, ce n'est de nouveau pas un système de l'anti convergente. C'est un système d'une l'anti convergente d'un miroir. J'ai un peu joué sur les mots, sur la question. Je ne vous promets pas de faire des questions de cet ordre-là à l'examen, mais c'était un petit peu pour vous entraîner au vocabulaire.

notes

résumé

15m 37s



es du système optique

s forme littérale

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Lentille convergente})$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Espace libre})$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ménisque divergent})$$

lentille

valeurs numériques

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0.01 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 30 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.02 & 1 \end{bmatrix}$$

1.7.15 Matrice

Matrice résult

Interprétation

- 0.7 : Facteur
- 30 : Effet de
- 0.004 : Influe
- 1.6 : Contrib

Comparaison

- Une lentille pour obtenir
- Le ménisque maintenant

Ah oui, il y avait une dernière qui était sur l'œil. Donc je vous donnais la définition de la myopie et je vous demandais ce qu'il fallait faire. Donc vous voyez sur la définition de la myopie que ça veut dire que, en fait, je m'attends de parler, votre œil est trop profond, avec la focalisation de la rayon parallèle se fait avant la rétine. Dans ce qu'il faut, il faut pouvoir allonger. Et la manière d'allonger, c'est de rajouter une lentille qui soit divergente. C'est ça qui permet de rallonger. Vous comprenez bien, il s'agit de faire diverger les rayons. Donc on va ouvrir, donc la focale va être un peu plus loin.

notes

résumé

15m 55s



1.7.15 Matrice du système combiné et interprétation

Matrice résultante

$$M = M_3 \cdot M_2 \cdot M_1 = \begin{bmatrix} 0.7 & 30 \\ 0.004 & 1.6 \end{bmatrix}$$

Interprétation des termes

- **0.7** : Facteur de réduction de l'amplitude des rayons.
- **30** : Effet de translation du système optique.
- **0.004** : Influence de la divergence sur l'angle des rayons.
- **1.6** : Contribution globale à la direction des rayons.

Comparaison avec un système équivalent sans lentille divergente

- Une lentille convergente seule nécessiterait une longueur beaucoup plus grande pour obtenir la même focale finale (7500 mm).
- Le ménisque divergent permet de **réduire la longueur physique**, tout en maintenant les propriétés focales.

Si vous rajoutez une lentille convergente, ça va au contraire réduire le lieu où aura lieu la convergence des rayons. Pour les cartes mentales, je ne sais pas à vous ce que vous en pensez, mais moi j'ai vu des nets d'amélioration. Enfin, j'en vois que vous vous êtes approprié ce touti, ça me fait très plaisir. Je voudrais bientôt que je mette toutes les cartes que vous avez faites, parce que je trouve qu'elles sont toutes de plus en plus intéressantes. Et voilà, j'ai l'impression que beaucoup d'entre vous en tout cas, se sont appropriés cet outil. Voilà une que j'ai trouvée intéressante et des graphiques. Il y a un sens graphique, alors voilà, ce n'est pas l'essentiel, mais je trouvais qu'il y avait les éléments qui étaient. On a repéré aussi celle-là qui racontait bien les différences du cours avec des graphiques. Bon, les graphiques sont un peu petites quand on les a reproduites, mais quand la carte est une taille originale, on voit bien les graphiques. Et puis, celle-là nous plaisait aussi beaucoup. Je n'ai pas un grand commentaire à vous faire, mais j'ai trouvé intéressante. Et celle-là aussi, elle était sur une feuille de papier, mais je trouve qu'elle était très bien faite aussi. Et puis, il y en a une que je n'ai pas mis, le même groupe qui avait fait l'arc-en-ciel la dernière fois de Pink Floyd, j'ai trouvé que votre carte était aussi très bonne, elle est restée sur mon bureau un peu plus tard, et puis je n'ai pas aminé, je l'aurais aussi choisi pour aller dans les cartes de cette...

notes

résumé

16m 36s



1.7.16 Que retenir de l'optique géométrique?

- Introduction
- Rayons Lumineux
- Loi de la Réflexion
- Loi de la Réfraction
- Indice de Réfraction
- Principe de Fermat
- Lentilles
- Formation d'Images
- Modèle de l'Œil
- Applications

C'est vous groupes ? Non, non, ce n'est pas... Donc voilà les cartes que j'ai sélectionnées cette fois. Ok, autrement, je vais retourner sur... Ça, c'est quoi ? Dans les feedbacks, il m'en montre qu'encore une. Dans la semaine... C'est quoi ? La 3. Moi, je vais la 2. J'ai rajouté un slide explicatif sur les défauts. Quand j'ai posé cette question, je me disais oui, je n'ai même pas parlé de ça, moi-même, j'étais même plus au clair quand j'étais dans le cours, j'étais la miopie, j'étais l'astigmatie. Donc, j'ai juste rajouté comme ça votre... Je vais essayer de baisser le... Voilà, c'est plus pour votre culture générale, pour le vocabulaire, que sont la miopie, l'astigmatisme et la presbytie, et puis comment est-ce qu'on les corrige,

notes

résumé

18m 15s



1.7.16 Que retenir de l'optique géométrique?

- Introduction
- Rayons Lumineux
- Loi de la Réflexion
- Loi de la Réfraction
- Indice de Réfraction
- Principe de Fermat
- Lentilles
- Formation d'Images
- Modèle de l'Œil
- Applications

avec quel type de verre, on les corrige. Moi, j'ai vécu des aléko-lunettes, sans me préoccuper de savoir si elles étaient diverses, genre, tout convergentes, mais c'est peut-être bien de savoir ces choses-là.

notes

résumé

19m 22s



Comparaison des systèmes optiques

Système optique	F. obj. (mm)	F. oc. (mm)	Grossissement
L. de Galilée	500 - 1500	-20 à -50	10x - 75x
L. de Kepler	500 - 2000	10 - 50	10x - 100x
T. de Newton	500 - 3000	5 - 40	50x - 500x
Microscope	1 - 20	20 - 50	40x - 1000x

Autrement, il y avait encore des éléments que j'avais pas réussi la dernière fois à présenter. Donc, on avait terminé avec le télémètre optique que je vous avais amené. Et puis, je voulais encore vous parler de systèmes optiques plus complexes, donc, quand on fait des télescopes de très haute qualité, quand on fait des... On appelle ça des télesobjectifs, etc., on va mettre toute une série de lentilles. Beaucoup de lentilles, c'est souvent pour garder une puissance de résolution dans un objet qui ne soit pas trop long. Donc, ça veut dire que très souvent, vous allez voir des conjugaisons de lentilles.

notes

résumé

19m 41s



2.4.1 Polarisation - objectifs pédagogiques

- Expliquer le sens physique de la polarisation de la lumière et présenter les concepts qui lui sont liés.
- Comprendre comment la lumière peut être polarisée
- Comprendre et appliquer la loi de Malus
- Comprendre et appliquer la loi de Brewster



En général, une lentille divergente conjuguée à une lentille convergente. Donc, je voulais juste encore vous montrer ça.

notes

résumé

20m 33s



2.1.1 Une onde, c'est quoi?

Une onde est la **propagation** d'une **perturbation** produisant sur son passage une variation réversible de propriétés physiques locales (pression, température, champs électromagnétiques).

Elle transporte de l'**énergie** et de la **quantité de mouvement** sans transporter de matière.

Propriété physique	Milieu	Type d'onde
Pression	<u>gaz, liquide, solide</u>	mécanique: son, vibration, vague
Champ électromagnétique	<u>vide</u>	lumière (visible), UV, IR, radio, micro-onde, rayon X
Champ gravifique	vide	gravitationnelle

Donc, pourquoi est-ce qu'on combine souvent ces deux types de lentilles? Donc, ça va permettre de garder un système relativement compact. Et puis, ça va aussi permettre de corriger certaines aberrations chromatiques. Je n'en ai pas du tout parlé. Mais, comme vous avez vu que le prisme a tendance de diffuser la lumière, il y a aussi un effet prisque qui peut se passer dans les lentilles, et ça risque aussi de séparer les rayons lumineux en fonction de leur couleur. Donc, ça va déformer une image, c'est-à-dire un pull rouge et une tête verte. Puis, qui sont séparés, ça veut dire que votre image va aussi être déformée. Donc, on veut d'une part, regarder un système qui soit compact, on ne veut pas avoir un tel objectif qui fait un mètre, ce n'est pas très pratique pour un journaliste pour aller faire des photos. On veut augmenter la distance focale et on veut corriger les aberrations. On ne l'ira pas plus loin que cette compréhension-là. Je ne vais pas rentrer dans l'été de l'objectif, je serai bien incapable. Je vous enseigne l'optique, je la comprends, mais je ne suis pas non plus un spécialiste du domaine. Et là, il y a de quoi devenir un spécialiste. Mais je voulais quand même vous montrer comment on pourrait faire un calcul avec ces fameuses matrices ABCD qui vous ont donné un petit peu de fil à retordre vendredi à certains. Donc, imaginez qu'on met d'une part une lentille convergente, une certaine distance et puis... J'ai mis un ménisque divergent, ce n'est pas obligatoire d'être un ménisque. Ça pourrait être une lentille divergente, ça n'a aucune importance que ce soit un ménisque. Et puis, on a la matrice qui correspond au système convergent. On a moins un sur la focale. Donc, si

notes

résumé

20m 43s



2.1.1 Une onde, c'est quoi?

Une onde est la **propagation** d'une **perturbation** produisant sur son passage une variation réversible de propriétés physiques locales (pression, température, champs électromagnétiques).

Elle transporte de l'**énergie** et de la **quantité de mouvement** sans transporter de matière.

Propriété physique	Milieu	Type d'onde
Pression	<u>gaz, liquide, solide</u>	mécanique: son, vibration, vague
Champ électromagnétique	<u>vide</u>	lumière (visible), UV, IR, radio, micro-onde, rayon X
Champ gravifique	vide	gravitationnelle

on a une focale de métons de 100, on aura moins un centième dans l'élément diagonale en bas. La matrice pour la distance est assez facile. C'est de nouveau la matrice identité sur le coin supérieur, droite, la distance. Et puis, il faut faire juste gaffe aux unités. C'est une fois qu'on en a mis en millimètre, on l'a mis en mètre, là on en a mis en millimètre. Il faudra rester toutes les distances en millimètre. Si vous voulez faire en mètre, ça marcherait aussi parce qu'on a une nomothécie du problème, mais il faut garder dans toutes les matrices les mêmes unités. Et puis, dans la lentille divergente, si on a une lentille divergente, ça veut dire que la valeur de la focale est négative. Donc, à l'intérieur de la matrice, il va y avoir moins un sur F, donc ça va donner une valeur positive. Et puis, si vous multipliez, il faut se souvenir qu'on commence à... Donc, on a l'habitude de dessiner les systèmes optiques avec la lumière qui rentre depuis la gauche. Mais le calcul matriciel, on commence depuis la droite. Donc, c'est pour ça qu'il faut faire un peu attention. Vous savez que... Vous ne savez peut-être pas, puisque le plus de matrices n'était pas forcément un sujet que vous maîtrisiez, mais quand on a des matrices A fois B, ce n'est pas la même chose que B fois A. Il faut vraiment respecter l'ordre dans lequel on les multiplie. Donc, ça veut dire que notre axe optique est ici dans cette direction. Et si vous faites ça, vous obtenez ce résultat. C'est le résultat de notre système, l'anticonvergente, distance, l'antidivergente. Et la focale finale va être le produit de ces deux nombres. Et ça va nous donner...

notes

résumé

du son

Le son s'est développé à partir de phénomène sonore.

Il se propage dans l'air à une vitesse qui dépend de la température de l'air:

$$c = 20.05 \sqrt{T} \quad [T] = K, [c] = \text{ms}^{-1} \quad (2.1)$$

0°C	10°C	20°C	40°C
331.3 ms ⁻¹	337.3 ms ⁻¹	343.2 ms ⁻¹	349 ms ⁻¹

Les physiciens de la Renaissance, de l'époque des lumières et même au XIX^e siècle.

se sont intéressés à ce problème.

2.1.3 L'écho app

- Le phénomène d'écho est lié au temps entre la ca

- A l'origine on perçoit l'émission de l'émetteur et le résonnement ressemble à des

Donc, on peut analyser les différents éléments de la matrice et ça va nous donner une focale finale qui est de 7 mètres, 7500 mm. Donc, on est bien compte que dans un système qui faisait 30 mm, on arrive à faire quelque chose qui arrive à gérer des distances de l'ordre de 7 mètres. Donc, ça, c'est pour justifier le fait pourquoi, est-ce que dans ces systèmes-là, on va utiliser des conjugaisons de l'anti, parce que ça va nous permettre de faire des systèmes beaucoup plus compacts si on devait avoir géré un tel objectif de 7,5 mètres. Voilà. Donc, ça a conclu le chapitre sur l'optique géométrique. En introduction, je l'avais présenté un petit peu ce qu'on considérait comme un rayon lumineux. On a parlé de réflexion, de réfraction, on a parlé d'indices, de réfraction, on a parlé de lois de Snell. C'est les différentes choses qu'on voit réapparaître régulièrement à juste titre dans votre carte mentale. J'ai un petit peu parlé du principe de Fermat, un petit peu une marotte des physiciens. Peut-être que je pourrais le faire un petit peu mieux une autre année. Gardez juste ce nom, tête, je ne vais pas vous embêter sur ce concept-là. C'est-à-dire, un grand principe de physique qu'on aime bien retrouver en optique. On a parlé des types de lentilles, on a parlé aussi d'autres types comme les miroirs sphériques et des choses comme ça. On a parlé de la formation d'images, de distances entre l'image et un objet. Je vous ai parlé un peu de l'œil et puis je vous ai montré quelques-unes des applications.

notes

résumé

24m 53s



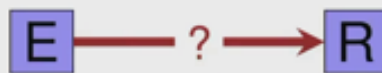
L'écho apporte les premiers raisonnements

2.1.4

phénomène de l'écho apporte les premiers éléments de compréhension: *le temps entre la cause et l'effet ne dépend que de la distance*



origine on pense qu'il s'agit d'une particule de matière qui voyage entre l'émetteur et le récepteur. (Avant Newton, on évite à tout prix tout ce qui semble à des actions à distance)



- Ma
- Ga
- Ne
- cor
- rap
- Ab
- car
- Au
- La
- me

C'est vraiment une introduction, on a passé environ 8 heures de temps pour parler de ça. Vous voyez que c'est faux du temps pour parler de ces sujets, vous les présentez. Mais c'est vraiment une introduction à l'optique géométrique. Et puis il y a une dernière slide qui faisait un petit peu un résumé. J'ai fait plus tard sur les trois types de lunettes astronomiques ou de télescopes et de microscopes. Les différents éléments qu'on a regardés pour avoir juste quelque part résumé de types de grossissement auquel on peut s'attendre. Ça peut être intéressant d'avoir en tête. Donc on est dans un microscope optique, de savoir qu'on est dans des grossissements entre 40 fois et 1000 fois. Et puis quand on est dans des lunettes, on est entre 10 fois et 100 fois. Et quand on est dans un télescope, on arriverait éventuellement jusqu'à 500 fois. Et si vous avez ça comme ordre de grandeur dans votre esprit, ça vous permet peut-être de saisir au quart de tour des arguments qui seraient portés sur ces éléments. Voilà. Je vais aller au début. Donc maintenant, attaquons le sujet de l'optique ondulatoire. Donc commençons par définir ce qu'est une onde. Il y a une définition acceptée par la communauté scientifique. Une onde, c'est une perturbation d'une propriété physique, pression, une température, un champ électrique, un champ magnétique, qui va se déplacer dans l'espace et elle est réversible au sens que après le passage de l'onde, normalement, la propriété physique dont on vient de parler, dont on parle de l'air et du son, c'est la pression. Si on parle d'un photon, c'est le champ électrique par où il a passé, il doit revenir à sa valeur initiale. Donc on reconnaît trois types d'ondes. Les zones de pression, on va souvent aussi parler,

notes

résumé

26m 43s



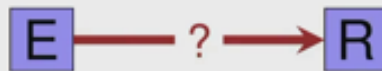
L'écho apporte les premiers raisonnements

2.1.4

Le phénomène de l'écho apporte les premiers éléments de compréhension: *le temps entre la cause et l'effet ne dépend que de la distance*



À l'origine on pense qu'il s'agit d'une particule de matière qui voyage entre l'émetteur et le récepteur. (Avant Newton, on évite à tout prix tout ce qui ressemble à des actions à distance)



- Ma
- Ga
- Ne
- cor
- rap
- Ab
- car
- Au
- La
- me

on va parler des zones de sons de mécanique. Elles peuvent avoir lieu dans un gaz, elles peuvent avoir lieu dans un liquide, elles peuvent avoir lieu dans un solide. Les zones se transmettent dans votre maison s'il y a des gens au 3-4 étages plus que vous qui ont des basses qui sont très fortes dans leur musique, vous pouvez les entendre aussi dans votre appartement, parce qu'elles ont été transmises par les murs, donc les zones se transmettent aussi dans les solides. Mais ces zones-là, elles ont besoin d'un milieu pour se transmettre. Si vous avez du vide, l'onde ne va pas se transmettre. Donc vous ne pouvez pas crier jusqu'à la lune, ça ne va pas arriver, il n'y a aucune chance qu'un lunean vous entende. Il y a un autre type d'onde qui va nous occuper dans les deux semaines à venir, c'est les ondes électromagnétiques. Donc ça veut dire que c'est un champ électrique et un champ magnétique, j'ai déjà parlé de ça en introduction, qui vont osciller, qui vont varier, c'est une perturbation du champ électrique qui va provoquer. Donc c'est plus connu, c'est la lumière visible, mais c'est le même phénomène, c'est le même type d'onde, mais avec des fréquences différentes qu'on a pour les rayons UV, les rayons infrarouge,

notes

résumé

2.1.4 Petit à petit théorie et mesure s'améliorent

- **Marin Mersenne** (1635) mesure une vitesse de 448 m/s.
- **Galilée** introduit le concept de plissement de l'air.
- **Newton** relie la vitesse du son aux propriétés thermodynamiques de l'air; la pression comme variable principale; premier calcul théorique basé sur le calcul infinitésimal. Par rapport à la lumière, il y voit autant un aspect ondulatoire que corpusculaire.
- **Abbé Nollet** (1738) observe que l'intensité du son est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- Au XVII^e les mesures faites au canon dépassent de 16% le calcul théorique de Newton
- **Laplace** (1816) propose un processus adiabatique (et non pas isotherme): $V \propto \sqrt{\frac{c_p}{c_v}}$: mesure et théorie collent enfin.

les ondes radio, les micro-ondes qui vous permettent de chauffer votre soupe à midi, et puis aussi les rayons X qui permettent d'aller vérifier après un week-end dans Valais si votre poignet ou votre cheville ou votre genou n'est pas en trop mauvais état. Et puis il existe un troisième type d'onde qui est moins courant, c'est relativement récemment qu'on les a déterminés, ce qu'on appelle des ondes gravitationnelles, peut avoir des épisodes liés à des explosions d'étoiles qui vont faire que... On va dire, l'espace va subir une déformation, et on commence en physique à s'occuper de ces choses-là. Gardez-le comme ça à quelque part, de nouveau, dans vos têtes, c'est plus de la culture générale. Nous, on va plutôt s'occuper des ondes de pression, un petit peu pour présenter les ondes, parce que c'est là que c'est quand même le plus facile à les représenter, et puis en fait, on s'intéressera aussi aux ondes électromagnétiques. Mais souvenez-vous, les ondes de pression, elles ont besoin d'un milieu, les ondes électromagnétiques ont pas besoin. Donc par contre, si ça ne vaut pas la peine de crier un amic sur la Lune, vous pouvez éventuellement lui envoyer un signe avec des miroirs, ça va fonctionner. Je vous avais dit la dernière fois, enfin, une des dernières fois, que les missions Apollo ont installé des cathodiobtes sur la Lune, et il y a régulièrement des distances avec des lasers qui sont jurés pour voir la position de l'un et de l'autre, si tout se passe bien, et si la Lune continue à nous suivre comme on peut dire. Ah, ça me fait penser, donc qu'il y avait un problème de cathodiobtes, si jamais vous voulez venir vérifier votre solution, vous pouvez, à la pause, venir vérifier votre solution avec le cathadiobte. Alors,

notes

résumé

30m 16s



2.1.4 Petit à petit théorie et mesure s'améliorent

- **Marin Mersenne** (1635) mesure une vitesse de 448 m/s.
- **Galilée** introduit le concept de plissement de l'air.
- **Newton** relie la vitesse du son aux propriétés thermodynamiques de l'air; la pression comme variable principale; premier calcul théorique basé sur le calcul infinitésimal. Par rapport à la lumière, il y voit autant un aspect ondulatoire que corpusculaire.
- **Abbé Nollet** (1738) observe que l'intensité du son est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- Au XVII^e les mesures faites au canon dépassent de 16% le calcul théorique de Newton
- **Laplace** (1816) propose un processus adiabatique (et non pas isotherme): $V \propto \sqrt{\frac{c_p}{c_v}}$: mesure et théorie collent enfin.

parlons un petit peu du son. C'est clair qu'on est censé parler de lumière dans un cours d'optique, mais je trouve intéressant d'introduire ces notions d'onde. Il y a une composante très importante du monde, c'est la vitesse à laquelle la perturbation dont on parlait va se déplacer. Donc quand on parle du son, des ondes de pression, on parle de la vitesse du son, et puis quand on parle des ondes électromagnétiques, on va parler de la vitesse et de la lumière, si cette valeur C est tellement importante. En général, on utilise toujours, quand on parle des ondes, pour cette vitesse-là, on aime bien utiliser la lettre C pour célérité. Quand on parle, on va parler de la vitesse de déplacement, il peut y avoir plusieurs types de vitesse dont on parle. Donc la célérité, c'est vraiment la vitesse à laquelle le phénomène de déformation qui est à l'origine de l'onde est en train de se déplacer. Donc il y a une formule maintenant qui est acceptée pour expliquer la vitesse du son dans l'air. C'est 20 fois la racine de la température, évidemment la température en Kelvin n'est pas en degré centigrade ou en degré Fahrenheit, ce qui donne une vitesse du son autour de 340 km par seconde dans notre environnement. Ça a occupé pas mal de gens, j'en parle aussi pour ça, au niveau du développement de la physique, la vitesse du son a été un sujet pendant de nombreuses années. Les physiciens de la fin de la Renaissance ont passé énormément de temps à analyser, à discuter, à faire des expériences et à faire des théories. Il faudra attendre le XIX^e siècle pour que ça se stabilise. Pendant quelques temps, on a pensé plutôt que le son, c'était des particules qui allaient du lieu

notes

résumé

2.1.4 Petit à petit théorie et mesure s'améliorent

- **Marin Mersenne** (1635) mesure une vitesse de 448 m/s.
- **Galilée** introduit le concept de plissement de l'air.
- **Newton** relie la vitesse du son aux propriétés thermodynamiques de l'air; la pression comme variable principale; premier calcul théorique basé sur le calcul infinitésimal. Par rapport à la lumière, il y voit autant un aspect ondulatoire que corpusculaire.
- **Abbé Nollet** (1738) observe que l'intensité du son est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- Au XVII^e les mesures faites au canon dépassent de 16% le calcul théorique de Newton
- **Laplace** (1816) propose un processus adiabatique (et non pas isotherme): $V \propto \sqrt{\frac{c_p}{c_v}}$: mesure et théorie collent enfin.

d'émission jusqu'à l'oreille. On a quand même dû se rendre compte que ça, on n'arrivait pas à expliquer ça avec des particules, et c'est l'écho qui a aidé un petit peu à comprendre et à comprendre ce qui se passait avec la distance, parce que l'écho permettait vraiment d'appréhender un certain nombre de problèmes, vu qu'on peut se trouver quasiment au même endroit que l'émission pour faire des mesures. C'est plus facile que si vous deviez avoir quelqu'un à un endroit et quelqu'un à un autre endroit pour faire la mesure. Il y a un certain physicien du XIX^e siècle, M. Colladon, qui était de Genève, qui s'est intéressé à la vitesse du son dans l'eau. Il a pris deux barres, qui s'est mis de deux côtés du lac, deux nuits, parce qu'il voulait avoir une grande distance, et puis les gens se sont fait des signaux lumineux, et avec des signaux lumineux, deux nuits, ils arrivaient à se voir.

notes

résumé

2.1.6 Transmission de l'onde

→ Comment est-ce que le son se déplace des cordes vocales de la cantatrice à l'oreille de l'auditeur?

→ Comment est-ce que la lumière se déplace du soleil à l'oeil?

Deux étapes pour comprendre la transmission de l'onde:

- ① Comprendre comment est décrit un phénomène périodique
- ② Comprendre comment est décrit un phénomène de propagation

Il a mis une cloche dans l'eau, puis il a tapé dans la cloche dans l'eau, et puis il y a quelqu'un d'autre qui a mis, je ne sais pas quel système pour écouter une corne, ou je ne sais pas quoi, l'autre côté, et puis ils ont réussi comme ça à calculer la vitesse dans l'eau. Je trouvais rigolo de vous raconter ça, parce que c'est assez sommaire comme mesure, mais il fallait quand même s'arranger, il fallait sur le lac, il faut connaître la distance entre les deux barres, il faut rester à cette distance-là. Et puis on va assez vite comprendre que la distance entre l'émission et la réception est vraiment importante. On a de la peine au début, on n'aime pas tellement les ondes, parce qu'au fond la science, depuis la science européenne au moins, depuis la Renaissance, elle, ce qu'elle voulait, c'était se libérer de l'esprit magique. Elle voulait vraiment expliquer les choses, avec ce qui, vous, vous n'aviez pas tout le temps, mais enfin c'est comme ça, avec des équations, avec la possibilité de faire des calculs sur les choses, et donc le fait d'avoir un phénomène qui se passe à un endroit, puis il se passe autre chose à un autre endroit,

notes

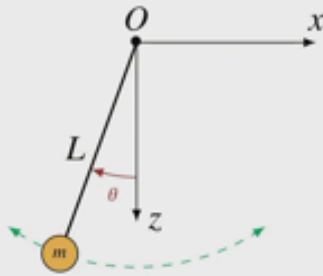
résumé

35m 1s

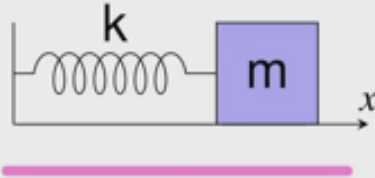


2.1.7 Exemples de phénomènes périodiques

Oscillation d'un pendule



Oscillation d'un système masse-ressort



et puis vous n'avez pas des particules qui se sont échangées, c'était un petit peu embêtant pour l'esprit humain. Mais après, avec Newton et la gravitation qui se passent aussi à distance, ça plus été un problème, on a accepté de rentrer dans des théories. Pendant qu'on est encore sur cette physique de l'époque de Newton, etc., pendant longtemps, pour la lumière, je parle plus du son, je parle plutôt de la lumière, donc on s'est posé pendant de nombreuses années, qu'est-ce que c'était vraiment la lumière, avant qu'on comprenne que ce soit une onde électromagnétique, et Newton avait fait des expériences, lui, il avait l'impression que c'était plutôt des particules, mais il a aussi d'autres moments où il s'en veut dire que ça se comporte quand même comme une onde,

notes

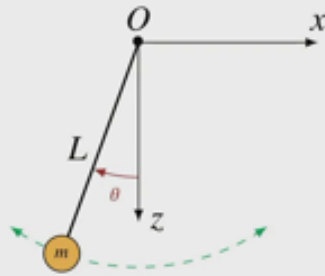
résumé

36m 11s

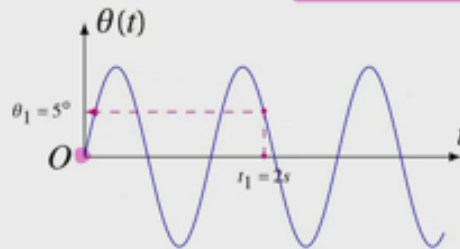
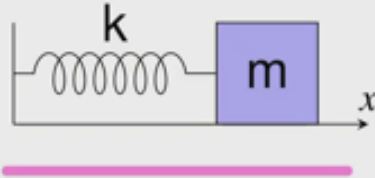


2.1.7 Exemples de phénomènes périodiques

Oscillation d'un pendule



Oscillation d'un système masse-ressort



entre autres, non, ces expériences sur le prisme. Il y a un autre monsieur, monsieur Wiegans, qui a fait des expériences avec des ondes de lumière qui passent par deux trous et essaient de comprendre ce qui se passe. L'interprétation qu'il a fait, c'était pas des particules, etc., et bien sûr qu'il faudra attendre le XXe siècle avec la physique quantique des gens comme Einstein pour pouvoir tirer au clair ce qu'il en était réellement. Ça veut dire qu'il s'agit d'une onde électromagnétique qui se comporte parfois comme une onde, dans d'autres situations, c'est plutôt le domaine particulier. Mais ça, c'était le dernier pelure d'oignons dans le modèle de l'optique auquel on va pas toucher l'optique quantique, on n'arrivera pas jusque là. Une petite ligne de... Comment ces idées d'ondes, et c'est venu avec le son, se sont développées, on peut citer Marin Mersenne qui mesure pour la première fois une vitesse du son autour de 450 mètres par seconde.

notes

résumé

36m 59s



Note: Radians et Degrés

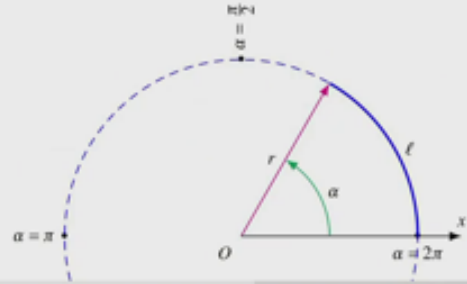
Degrés

- 1 tour = 360°
- Astronomie → mesure du temps: 1 ans \approx 365 jours → 1° /jour
- "Il semble que les Sumériens [...] aient pris l'angle du triangle équilatéral comme référence et qu'ils l'ont, en application de leur base sexagésimale, divisé en 60 degrés, puis le degré en 60 minutes d'angle, puis la minute en 60 secondes d'angle."



Radian

- 1 tour = $2\pi \text{ rad}$
- correspond à la longueur de l'arc divisé par le rayon
- donc la longueur de l'arc d'un cercle unitaire (de rayon 1)



Galilé semble être le premier qui a eu l'idée de...

notes

résumé

38m 10s



Note: Radians et Degrés

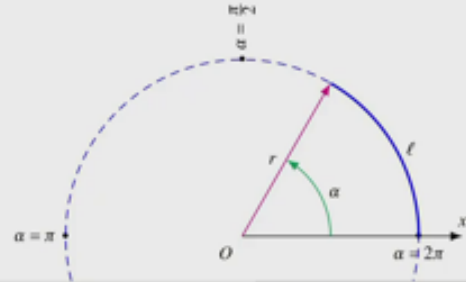
Degrés

- 1 tour = 360°
- Astronomie → mesure du temps: 1 ans \approx 365 jours → 1° /jour
- "Il semble que les Sumériens [...] aient pris l'angle du triangle équilatéral comme référence et qu'ils l'ont, en application de leur base sexagésimale, divisé en 60 degrés, puis le degré en 60 minutes d'angle, puis la minute en 60 secondes d'angle."



Radian

- 1 tour = 2π rad
- correspond à la longueur de l'arc divisé par le rayon
- donc la longueur de l'arc d'un cercle unitaire (de rayon 1)



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

12 / 64

Comment ça se passe, qu'est-ce que c'est ? Donc il parlait de plismons de l'air, on commence à avoir des concepts où on voit quelque chose qui se passe, à pouvoir représenter l'onde, comme quelque chose, on parle pas encore d'ondes sinusoïdal, mais d'avoir quelque chose qui se passe entre les metteurs et le récepteur. Newton va s'intéresser aux aspects thermodynamiques, qu'est-ce qui se passe quand la température augmente, qu'est-ce qui se passe avec la densité du gaz, qu'est-ce qui se passe dans un liquide, qu'est-ce qui se passe dans un gaz, etc. Et puis il va faire des premiers calculs infinitésimaux. Donc pour ça, c'est quasiment des premières fois en physique, on va utiliser des dérivés, des intégrales pour essayer de comprendre ce qui se passe, de ne pas pouvoir expliquer simplement les choses avec des relations linéaires entre les choses. Ça fois ça, ça, ça, ça divisé par ça, ça, faire un calcul un peu plus... un peu plus sophistiqué, un peu plus compliqué. Et comme je vous disais avant, lui, il voyait autant un aspect ondulatoire que corps musculaire. Il n'a bien sûr pas du tout émis qu'il voyait avoir un espèce de double nature de la lumière, comme on va émettre ça au 20e siècle, mais il est déjà conscient que les différentes représentations qu'on a sont peut-être pas cohérentes. Alors, la bèneulais, c'était un gars assez rigolo. C'était un AB qui vivait à la Cour de France, c'était le confesseur, je ne sais pas du roi ou d'un prince ou d'une princesse à la Cour de France. Et puis il avait bien fait des expériences de physique, et puis il aimait bien démontrer, faire salon, et puis montrer des phénomènes de vie comme je fais moi quand je vous fais des expériences devant vous. Et

notes

résumé

38m 13s



Note: Radians et Degrés

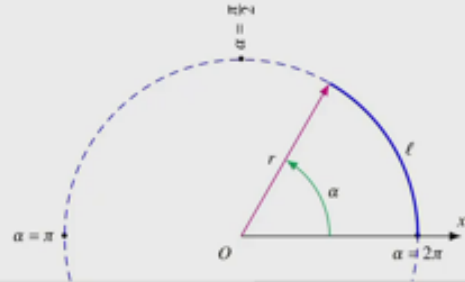
Degrés

- 1 tour = 360°
- Astronomie → mesure du temps: 1 ans \approx 365 jours → 1° /jour
- "Il semble que les Sumériens [...] aient pris l'angle du triangle équilatéral comme référence et qu'ils l'ont, en application de leur base sexagésimale, divisé en 60 degrés, puis le degré en 60 minutes d'angle, puis la minute en 60 secondes d'angle."



Radian

- 1 tour = 2π rad
- correspond à la longueur de l'arc divisé par le rayon
- donc la longueur de l'arc d'un cercle unitaire (de rayon 1)



puis, il y a eu une expérience que je vous raconte, parce que je la trouve très rigolo. Il mettait une dizaine de soldats, il crée avec un générateur de vendeurs, je ne sais pas quoi, une décharge électrique, il électrifiait le premier, puis c'est bien sûr le dernier qui sursautait, ça faisait rire tout le monde, et les soldats, peut-être un peu moins, mais voilà à quoi pouvait s'amuser. Et il y a peut-être même pire à raconter, mais voilà à quoi pouvait s'amuser éventuellement la Cour de France. Au 17e siècle, on fait des mesures, mais on a toujours un problème entre les mesures théoriques et puis... Pardon, les mesures théoriques. Les résultats de mesures et les calculs théoriques. On n'arrive jamais à se mettre d'accord avec la théorie Newton. Newton avait un tel aura qu'on hésitait quand même à remettre en question sa théorie. C'est finalement la place qui, début du 19e siècle, va comprendre que thermodynamiquement, il faut présenter les choses différemment, donc ça c'est des mots que vous allez rencontrer d'ici quelques semaines. Et il a dit que c'était un processus adiabatique et non pas un processus isotherme. Ça veut dire que le passage de l'onde est suffisamment rapide pour que les énergies thermiques n'aient pas le temps de s'équilibrer. Donc on n'a pas le temps de faire des échanges thermiques, donc ça veut dire qu'il faut tenir compte des aspects adiabatiques. Je ne vais pas m'enfoncer là-dedans plus, mais ça a permis de corriger la vitesse. On se rend donc compte que la vitesse de l'onde va être égale à la racine du CP-CV. Aujourd'hui c'est des mots qui veulent rien vous dire. Vous allez voir dans deux, trois semaines, CP et CV, on va en parler. Donc c'est là la capacité thermique à

notes

résumé

Note: Radians et Degrés

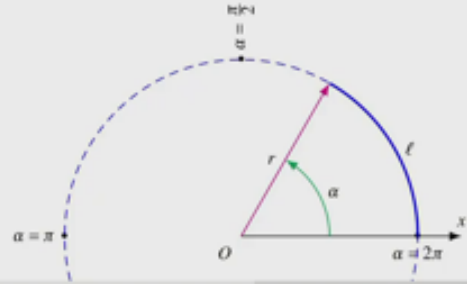
Degrés

- 1 tour = 360°
- Astronomie → mesure du temps: 1 ans \approx 365 jours → 1° /jour
- "Il semble que les Sumériens [...] aient pris l'angle du triangle équilatéral comme référence et qu'ils l'ont, en application de leur base sexagésimale, divisé en 60 degrés, puis le degré en 60 minutes d'angle, puis la minute en 60 secondes d'angle."



Radian

- 1 tour = 2π rad
- correspond à la longueur de l'arc divisé par le rayon
- donc la longueur de l'arc d'un cercle unitaire (de rayon 1)



pression constante et à volume constant. Et donc enfin on a les mesures et la théorie qui collent. En général on aime bien ça en physique, donc on n'a pas ça. On a la peine à se considérer qu'on a terminé son travail. Je vais passer, je vous ai parlé, c'est l'histoire de Colladon. Pour vous expliquer comment les ondes se déplacent, comment le son se déplace de la gorge, de la cantatrice jusqu'à l'oreille de la matheure de musique, comment la lumière se déplace du soleil jusqu'à nous. Je vais faire deux étapes. Je vais déjà vous parler un petit peu des mouvements périodiques et puis ensuite je vais vous montrer comment ces mouvements périodiques se propagent dans l'espace. Donc quand je parle de mouvements périodiques, c'est par exemple typiquement ce qui peut se passer dans un pendule, mouvement qui va se reproduire dans le temps. Mais là il se déplace pas dans l'espace, il reste là, il ne va pas au fond de la salle.

notes

résumé

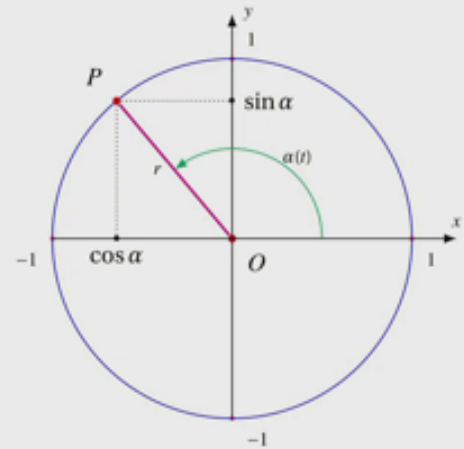
2.1.8 Le cercle trigonométrique

- **Coordonnées polaires** décrivent la position du point P par l'angle α et le rayon r :

$$\begin{cases} \alpha(t) = \alpha_0 + \omega t \\ r(t) = r \end{cases} \quad (2.2)$$

- **Coordonnées cartésiennes** décrivent la position du point P par l'angle par la projection sur l'axe horizontal x et vertical y :

$$\begin{cases} x(t) = r \cos \alpha(t) \\ y(t) = r \sin \alpha(t) \end{cases} \quad (2.3)$$



Alors que quand je parle par bonheur, même si je touche beaucoup aujourd'hui, j'espère que mes paroles et leurs contenus arrivent jusqu'à la fin de la salle. Donc on va d'abord comprendre les phénomènes périodiques et ensuite on va regarder les phénomènes de propagation. Alors voilà, des mouvements périodiques les plus simples. Vous en avez vu à mon avis pendant votre premier semestre de physique. Vous vous rappelez des très bons souvenirs. Il faut que je passe un peu sourire. Je vous trouve un peu triste aujourd'hui. Je vous trouve un petit peu amortie comme ça. Je ne sais pas si c'est la fin de la journée ou si c'est passé des choses dans votre journée. J'ai envie de vous stimuler comme un pendule. Donc voilà deux situations. On ne va pas rentrer physiquement plus dans leur description. C'est quoi ? C'est des systèmes physiques qui vont reproduire un mouvement qui est toujours le même. Alors un qui est typique, c'est le pendule. Un autre qui est typique, c'est le lociateur harmonique d'avoir une masse qui est attachée à un point fixe et à un ressort. Et si on donne une certaine extension, une certaine compression au ressort, après on va créer un mouvement qui, s'il n'y a pas de frottement, va se poursuivre à éternité. En fait, ça ne va jamais se poursuivre à éternité parce qu'il va y avoir dans le ressort des phénomènes d'échauffement. Donc de toute façon, on aura un peu un amortissement. Et puis ces phénomènes-là, on arrive à les décrire très très bien sous forme d'une sinusoid. Donc un sinus ou un cosinus, vous savez que la différence, c'est les courbes, correctement la même forme. Vous pouvez les superposer.

notes

résumé

43m 9s



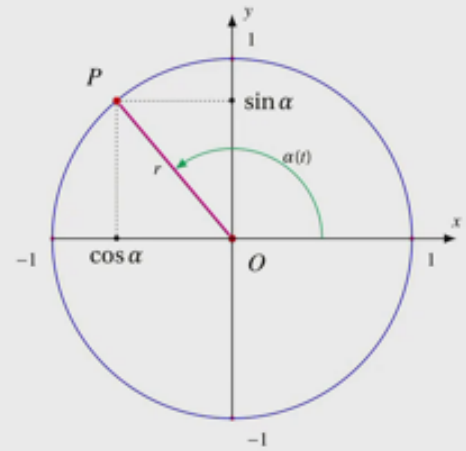
2.1.8 Le cercle trigonométrique

- **Coordonnées polaires** décrivent la position du point P par l'angle α et le rayon r :

$$\begin{cases} \alpha(t) = \alpha_0 + \omega t \\ r(t) = r \end{cases} \quad (2.2)$$

- **Coordonnées cartésiennes** décrivent la position du point P par l'angle par la projection sur l'axe horizontal x et vertical y :

$$\begin{cases} x(t) = r \cos \alpha(t) \\ y(t) = r \sin \alpha(t) \end{cases} \quad (2.3)$$



Ils ont juste un déphasage d'un quart de tour entre elles. Donc quand je commence à zéro, j'ai zéro. C'est un cosinus. Quand à zéro, j'avais le maximum, c'est un sinus. Puis après, vous avez une combinaison des deux pour toutes les possibilités.

notes

résumé

44m 55s



Le cercle trigonométrique

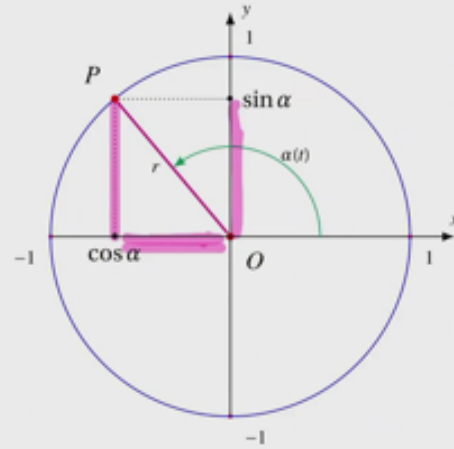
2.1.9

ordonnées polaires décrivent la position du point P par l'angle α et le rayon r :

$$\begin{cases} \alpha(t) = \alpha_0 + \omega t \\ r(t) = r \end{cases} \quad (2.2)$$

ordonnées cartésiennes décrivent la position du point P par l'angle par la projection sur l'axe horizontal x et vertical y :

$$\begin{cases} x(t) = r \cos \alpha(t) \\ y(t) = r \sin \alpha(t) \end{cases} \quad (2.3)$$



Les fo

- son de aut
- son phé
- la v
- la p
- tou
- la f
- l'ar

Ça dépend finalement plutôt du moment à lequel vous avez déclenché votre chronomètre par rapport à la position du mouvement. Donc voilà ce que sont les phénomènes pédagogiques. Je considère que c'est quelque chose qui est connu pour vous.

notes

résumé

45m 10s



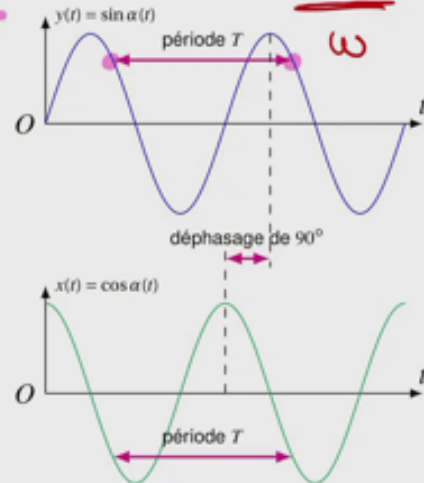
2.1.9 Concepts liés aux fonctions trigonométriques

Les fonctions $\sin \alpha$ et $\cos \alpha$

- sont les projections horizontales et verticales de la position d'un point P qui est en rotation autour d'un point O (slide précédent)
- sont adéquates pour représenter des phénomènes périodiques
- la vitesse angulaire ω est appelée la **pulsation**
- la **période** correspond au temps pour faire un tour, donc $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$
- la **fréquence** est l'inverse de la période, donc $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- l'angle de départ α_0 est appelé la **phase**

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\sin(2\pi f t)$$



$$\cos(\alpha t) \quad \alpha T = 2\pi$$

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

14 / 64

Alors quand on va faire tous ces calculs, on aura des angles et c'est pas facile de faire les calculs quand on fait les calculs avec les degrés. Parce qu'on a 360 pour faire un tour et on n'arrive pas à passer facilement des degrés à la longueur de l'arc. Il y a un autre type de mesure qui fonctionne beaucoup mieux pour ça, c'est le radian. Donc ce slide donne quelques petites informations qui sont presque plus de la culture générale. Vous avez compris, sachiez-vous, vous rappelez-vous que pourquoi on a 360 degrés dans un cercle ? C'est aussi pourquoi on a 12 heures et 3600 minutes dans une heure. Pourquoi ? Parce que les Sumériens qui ont inventé ce système, qui ont commencé à mettre sur pied les systèmes qu'on utilise, ils avaient des bases de 12. Ils comptaient en base de 12. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Donc ils comptaient sur les doigts. C'est pas qu'ils avaient 12 doigts, mais c'est qu'en fait ils comptaient les nits et ils comptaient pas les doigts. Et c'est de là que vient, du moins c'est une supposition qui fait consensus, c'est de là que vient nos 360. Et pourquoi aussi 360 ? Parce qu'une année, c'est plus ou moins 360 jours. Et puis ils avaient quand même compris que ça correspondait à une rotation de quelque chose. Je sais pas ce qu'ils s'imaginaient, qu'ils devaient tourner en rond, mais il y avait quelque chose qui tournait en rond. Donc c'est un petit peu comme ça qu'on est arrivé avec des mesures d'angle avec 360°, des mesures d'heure qui sont de 60 minutes par heure, 3600 secondes par heure. Et puis on peut lier ça aussi à des formes qui avaient une certaine importance

notes

résumé

45m 31s



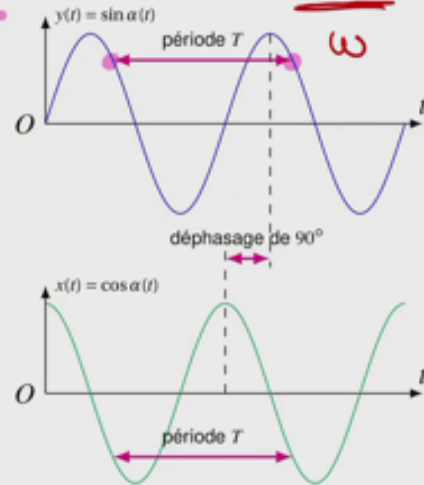
2.1.9 Concepts liés aux fonctions trigonométriques

Les fonctions $\sin \alpha$ et $\cos \alpha$

- sont les projections horizontales et verticales de la position d'un point P qui est en rotation autour d'un point O (slide précédent)
- sont adéquates pour représenter des phénomènes périodiques
- la vitesse angulaire ω est appelée la **pulsation**
- la **période** correspond au temps pour faire un tour, donc $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$
- la **fréquence** est l'inverse de la période, donc $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- l'angle de départ α_0 est appelé la **phase**

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\sin(2\pi f t)$$



$$\cos(\alpha t) \quad \alpha T = 2\pi$$

dans les cultures anciennes. Le triangle équilatéral et puis si vous en supportez deux, peut-être bêche, ça vous donne une étoile qui a des angles de 60° . Il y a plein de raisons pour lesquelles on pourrait tomber là-dessus. Mais voilà, ça c'est un peu de l'histoire ancienne, on a gardé ça dans les systèmes de mesures. Pour la petite histoire, à la révolution française, donc qui a la volonté de unifier les mesures, on a fait le système métrique. Pourquoi est-ce qu'on n'a pas fait ça pour le temps ? Ça coûte trop cher. C'est qu'en fait, changer les mesures de poids, il y avait déjà tellement de mesures de poids, ça représentait pas un surcoût important pour le commerce et le milieu du commerce. Par contre, les horloges, toutes les mesures de temps étaient déjà bien établies et se recoutaient très très cher de devoir refaire toutes les horloges, tous les mouvements d'horloges, etc. Donc c'est pour ça qu'on a adopté un système métrique pour les mesures de poids, de volumes, d'autres choses, de distance et puis on n'a pas fait pour les mesures de temps, on est restés dans le système sexagésimal pour les mesures de temps. Mais en physique, pour pouvoir faire rapidement les liens entre les angles et les distances, on préfère la mesure qui est basée sur le périmètre d'un cercle. Donc le périmètre d'un cercle, c'est deux fois le rayon. Donc ça veut dire que si vous avez un long en radian, vous savez tout de suite, et que vous connaissez le rayon, vous avez tout de suite la longueur de l'arc. Donc ça c'est très pratique. Ça veut dire que c'est un système... Vous n'avez pas besoin de reprendre votre machine à calculer, il n'y en avait pas à l'époque, vous

notes

résumé

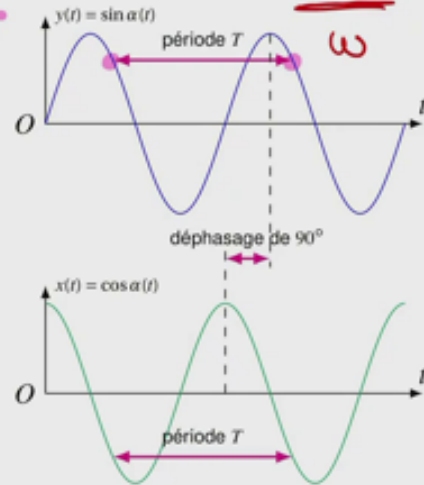
2.1.9 Concepts liés aux fonctions trigonométriques

Les fonctions $\sin \alpha$ et $\cos \alpha$

- sont les projections horizontales et verticales de la position d'un point P qui est en rotation autour d'un point O (slide précédent)
- sont adéquates pour représenter des phénomènes périodiques
- la vitesse angulaire ω est appelée la **pulsation**
- la **période** correspond au temps pour faire un tour, donc $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$
- la **fréquence** est l'inverse de la période, donc $f = \frac{\omega}{2\pi}$
- l'angle de départ α_0 est appelé la **phase**

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\sin(2\pi f t)$$



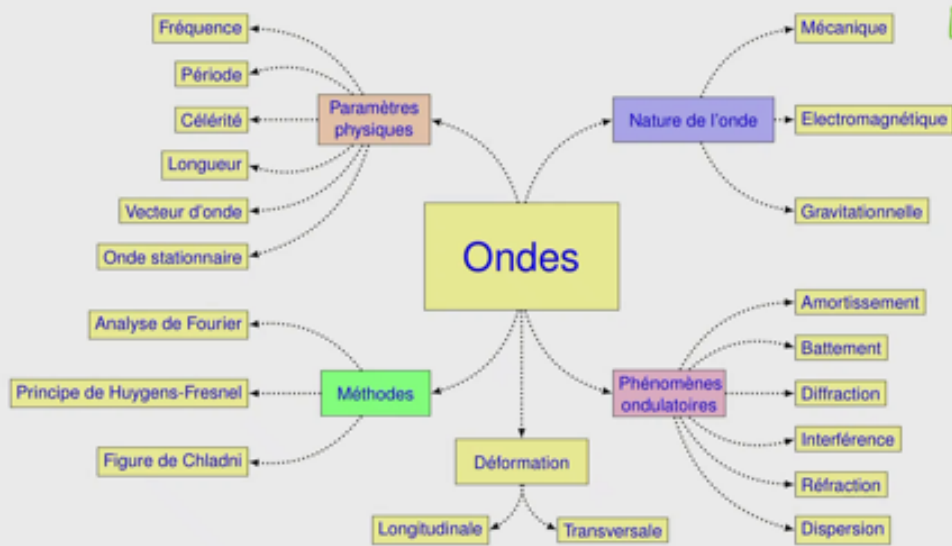
$$\cos(\alpha t) \quad \alpha T = 2\pi$$

n'avez pas besoin de faire plein de calculs supplémentaires. Simplement en ayant les angles en radian, vous avez les longueurs des arcs. Vous passez des distances d'un système cartésien aux distances dans un système polaire beaucoup plus facilement. Donc souvenez-vous qu'il faut deux pi radian pour faire un cercle, que ça correspond à 360° , que vous devez passer des degrés au radian, passer au demi-cercle. Donc c'est pi et 180° . Donc si vous avez des degrés, vous divisez par 180° , vous multipliez par pi, si vous avez des radians, vous faites l'inverse. Voilà, je vous laisse un moment de pause. Il s'est passé quelque chose aujourd'hui, je trouve vraiment tout le monde très... Alors il y a eu la pub night, je pense qu'il y a beaucoup de gens qui sont sortis, donc on est un peu fatigués. C'est peut-être ça, et aussi parce qu'on commence à 8h le matin. Ah ouais, c'est une grande journée le mardi. Je sais que le mardi c'est une grande journée. Sinon je crois que ça va. Sinon à part ça, la semaine dernière, on a fait un exercice des filmatrices.

notes

résumé

2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Oui. Et dans l'exercice, on ne doit pas assez longs en radiant. Oui. Qu'est-ce qu'on a ?
On a pas ce qu'autrement, parce qu'on l'utilise. On va rester entre nous.

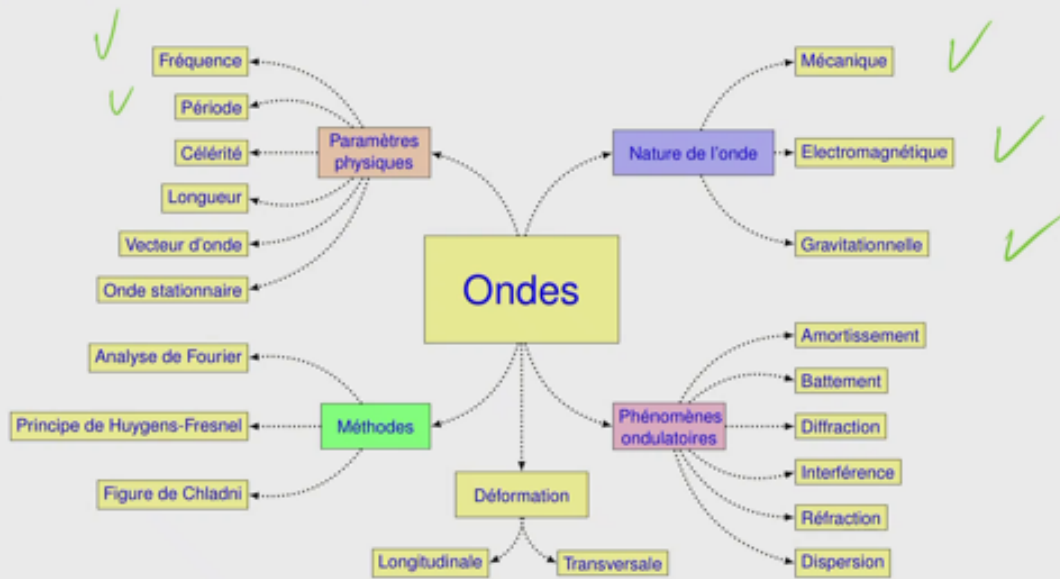
notes

résumé

50m 51s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Voilà, votre dernier heure de la journée, puis après ce sera fini.

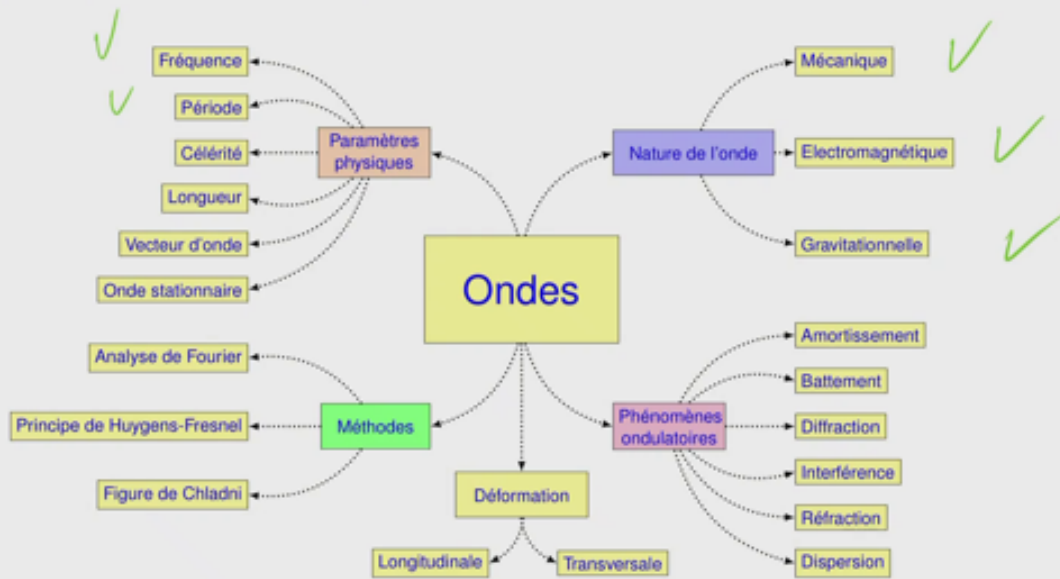
notes

résumé

51m 8s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Longue journée, non ?

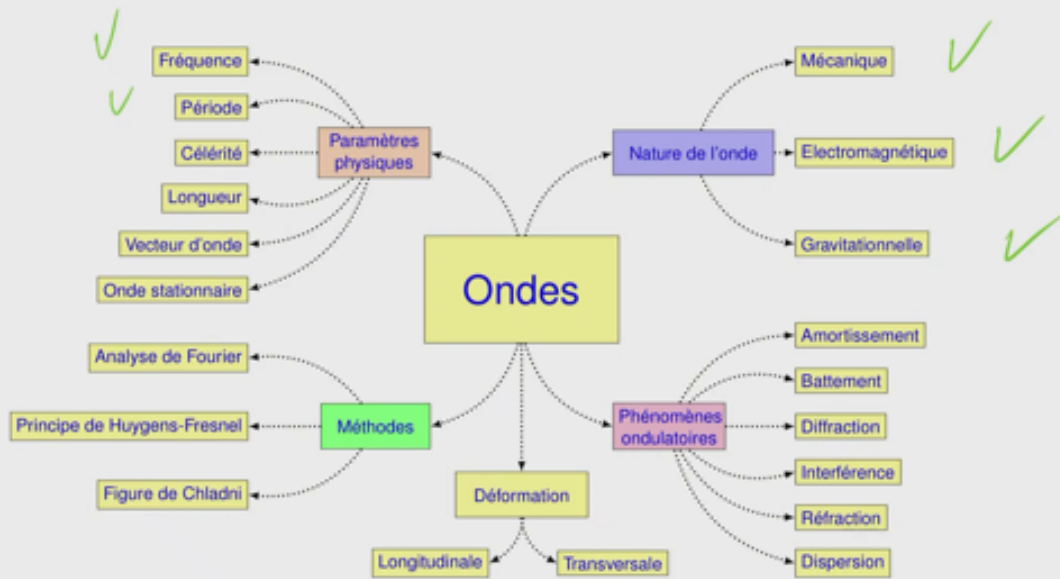
notes

résumé

51m 22s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Ok, donc je vous ai expliqué l'intérêt d'utiliser des radians plutôt que des degrés

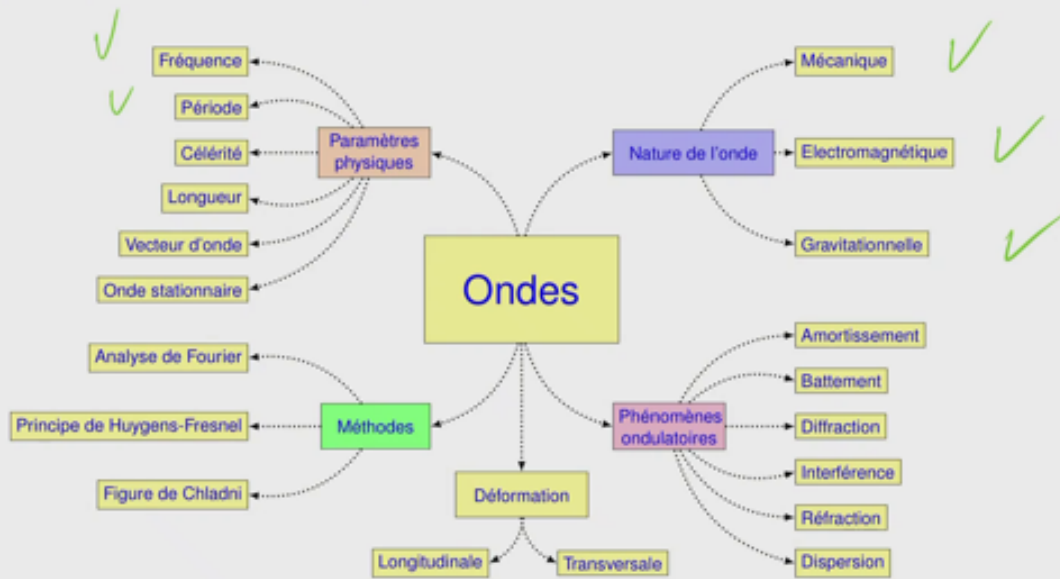
notes

résumé

51m 26s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



dans certaines situations. C'était aussi ce qu'on avait déjà fait dans le cadre

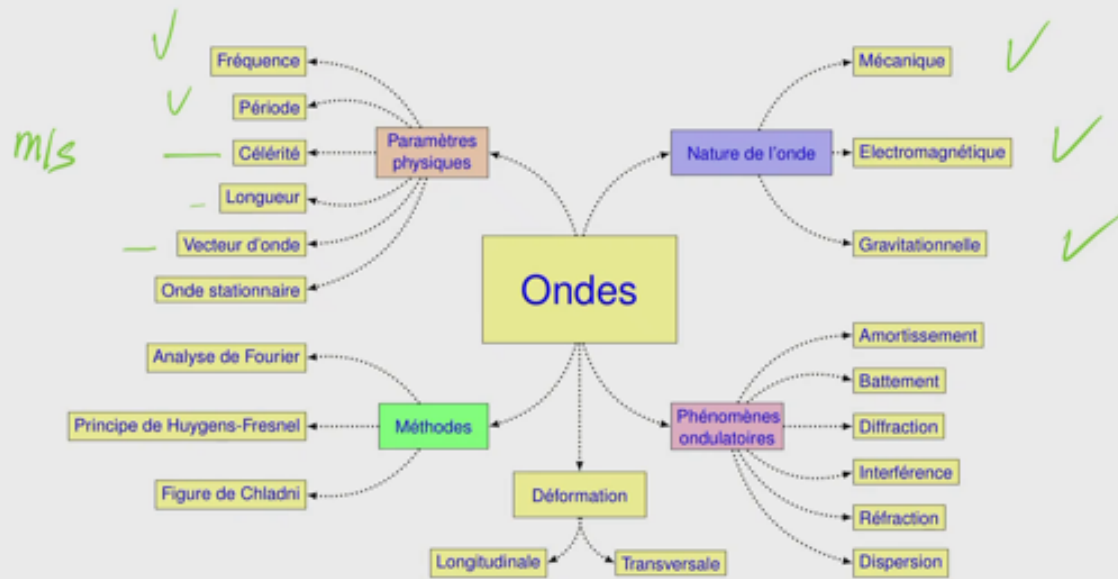
notes

résumé

52m 24s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



des matrices ABCD. Il fallait vraiment utiliser des radians pour les angles, autrement on n'arrivait

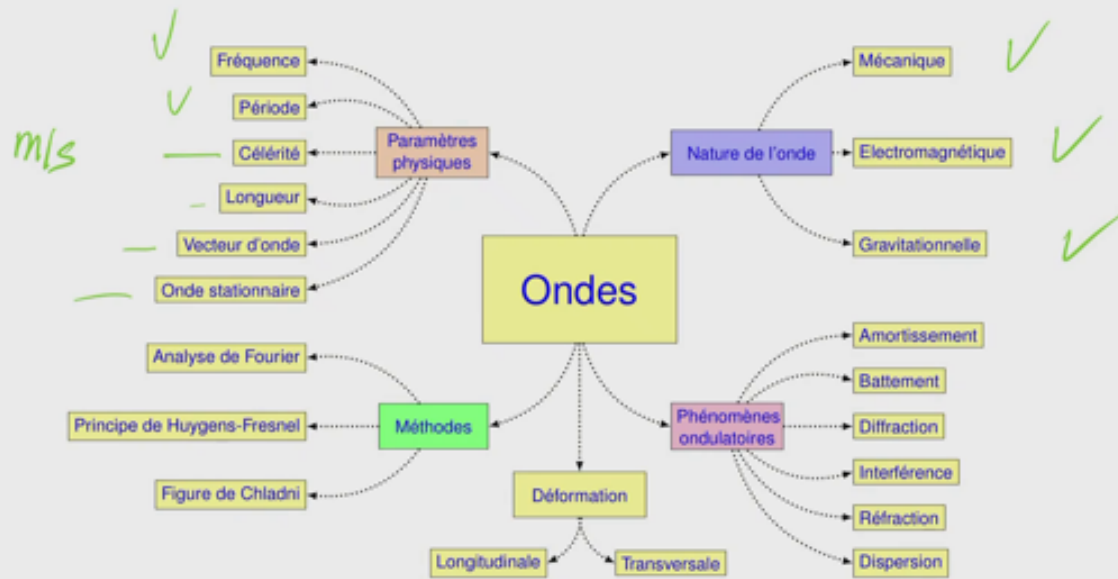
notes

résumé

52m 25s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



pas à passer la valeur de l'angle avec la perte de hauteur ou le gain de hauteur

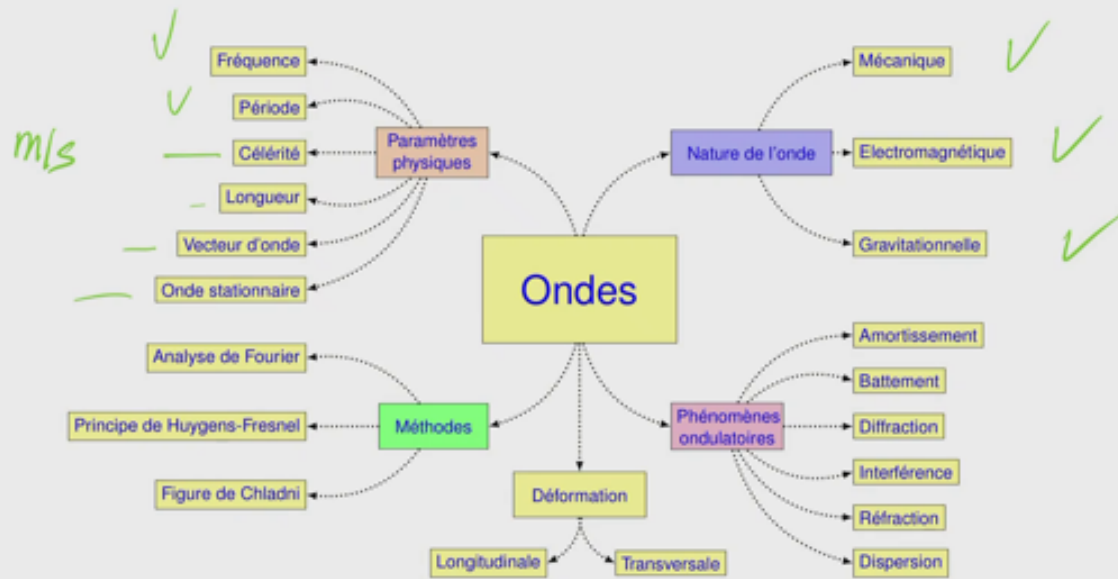
notes

résumé

53m 28s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



dans le rayon. Donc là on n'avait pas le choix.

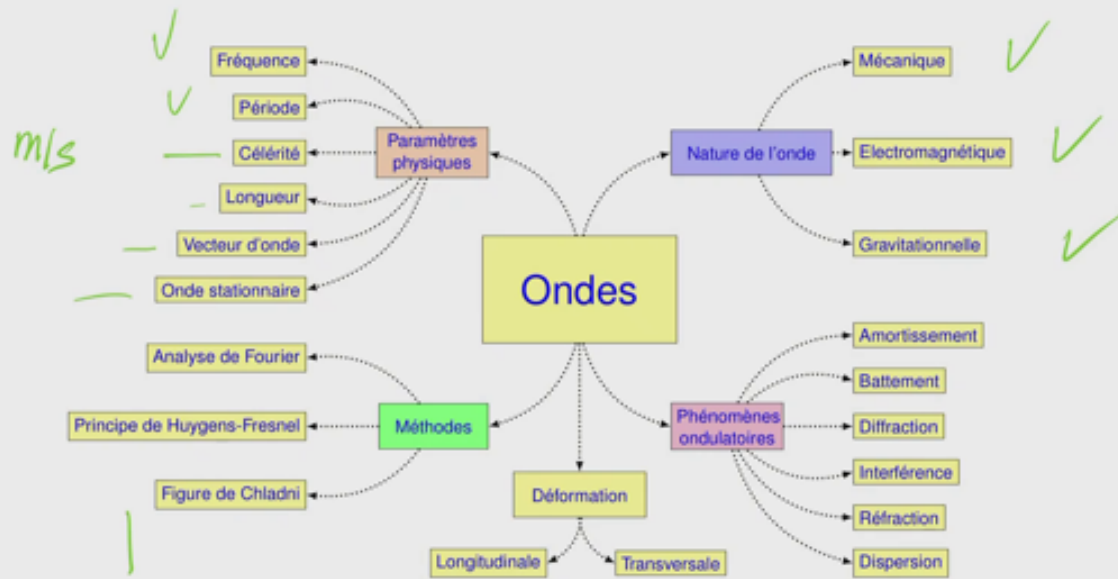
notes

résumé

53m 48s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Donc maintenant qu'on a des angles, on peut parler juste un petit peu des coordonnées polaires

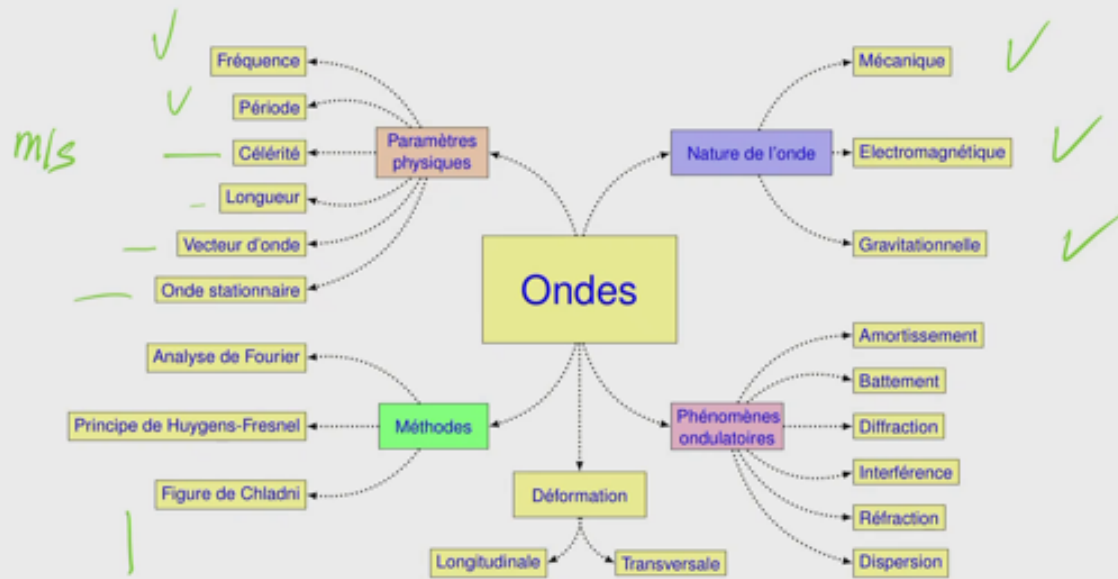
notes

résumé

53m 50s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



et des coordonnées cartésiennes. Donc si je ne sais pas, vous avez un carousel et que

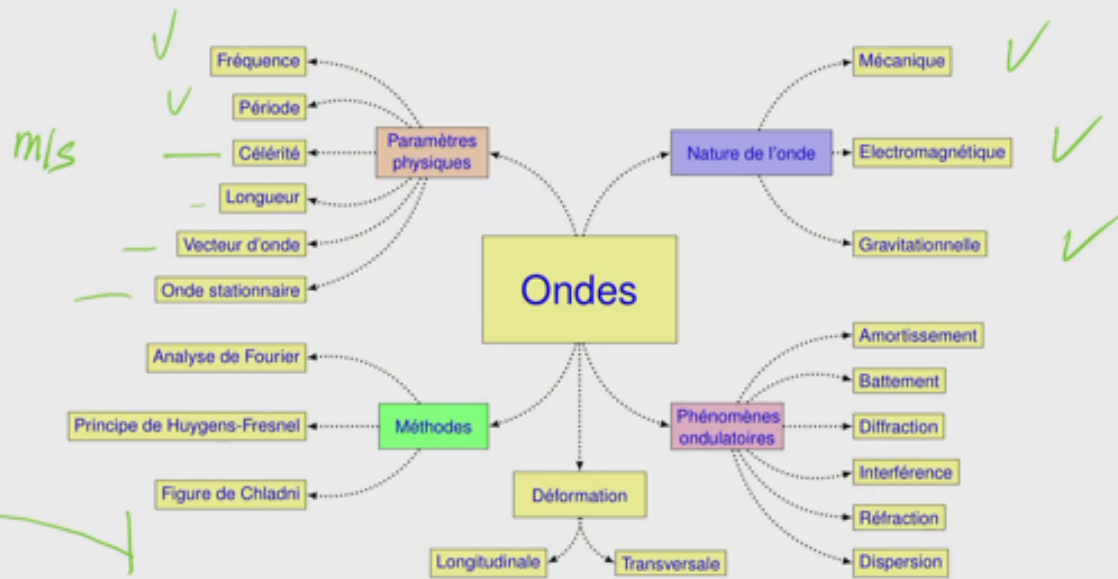
notes

résumé

54m 12s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



vous suivez le point de l'oreille du cheval en bois sur le carrousel, en fait vous n'avez

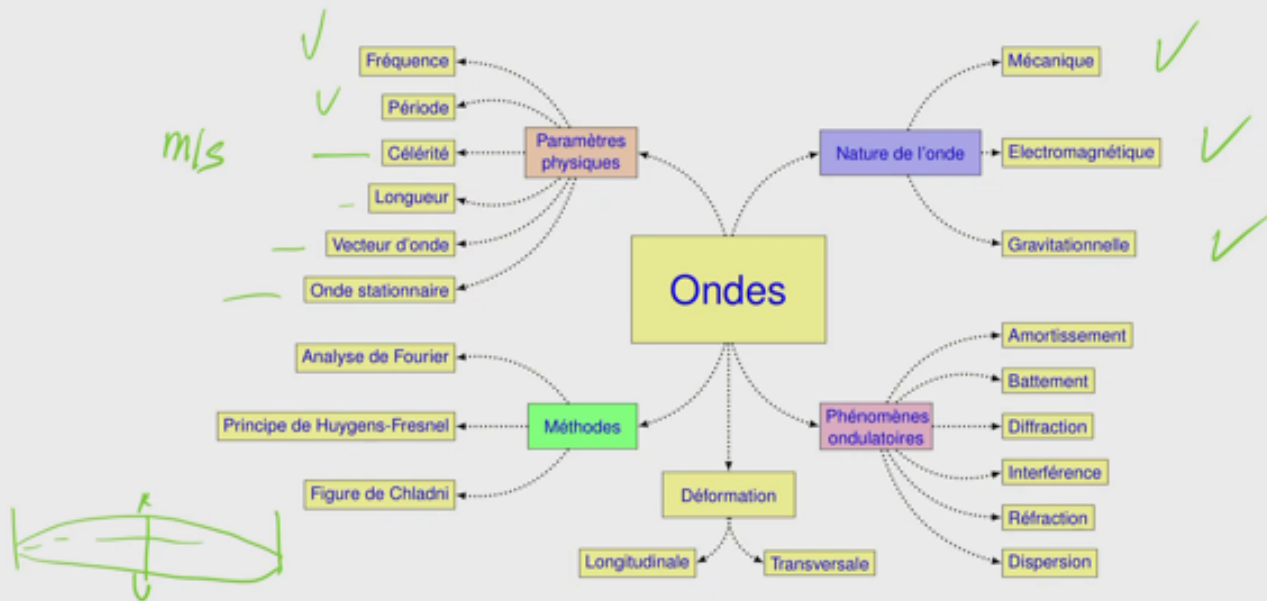
notes

résumé

54m 22s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



pas besoin de décrire la distance par rapport à l'axe de rotation, tout le temps vous

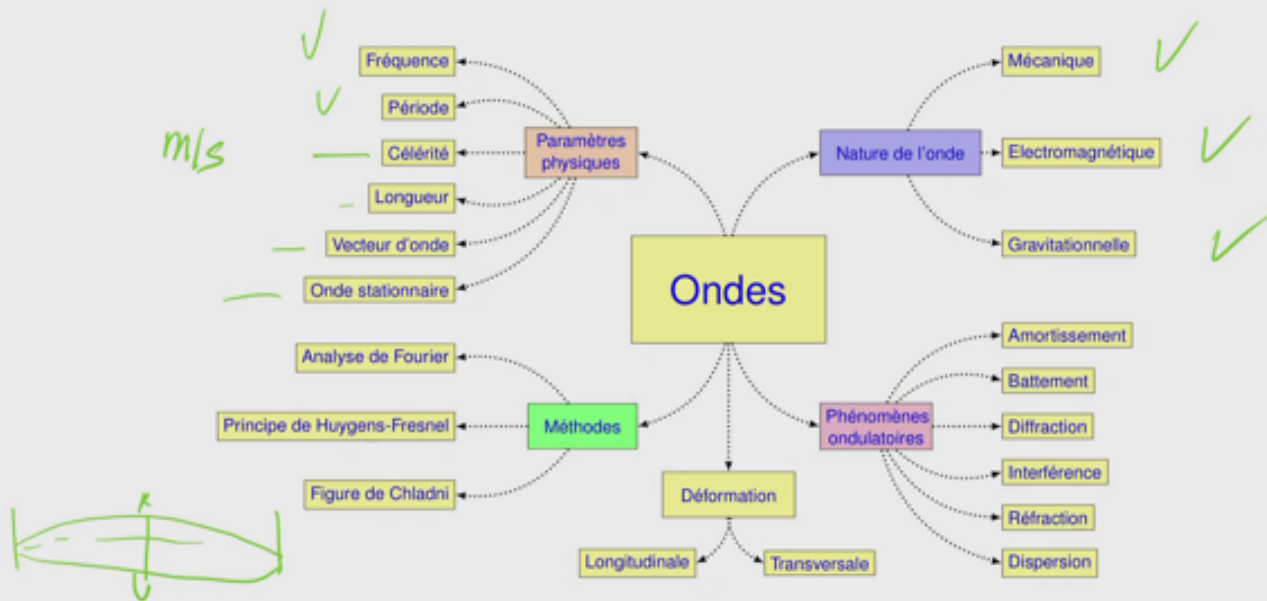
notes

résumé

54m 25s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



en êtes la même, si vous intéresse c'est de décrire l'angle.

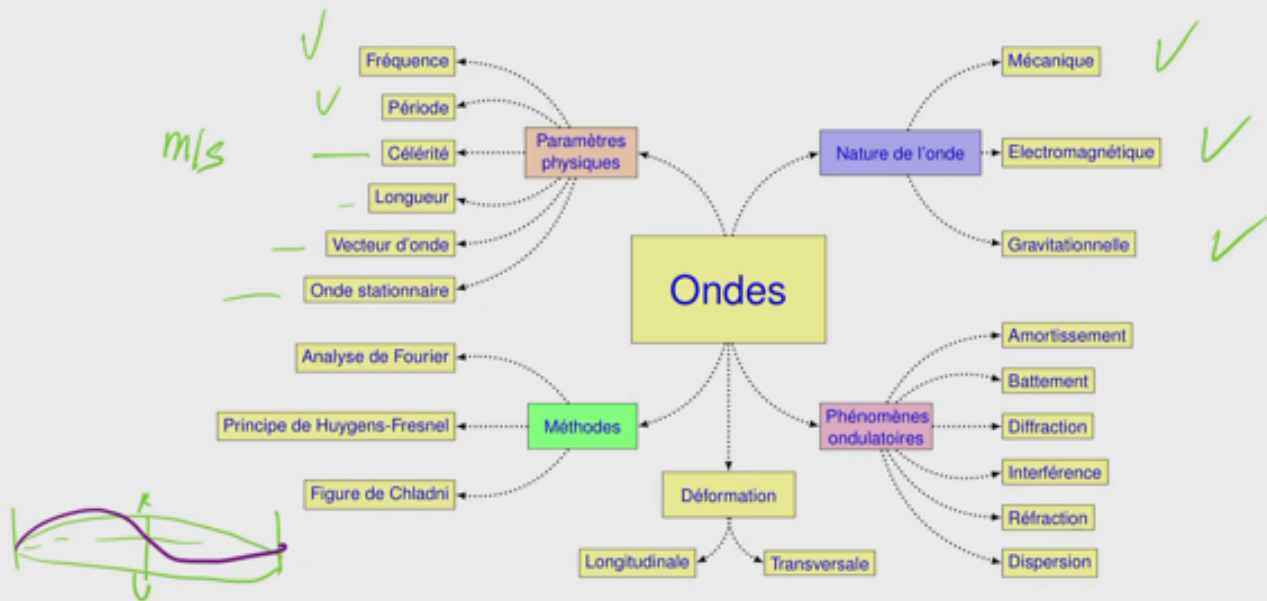
notes

résumé

54m 48s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



Donc c'est pour ça que c'est quand même intéressant d'avoir une manière de représenter

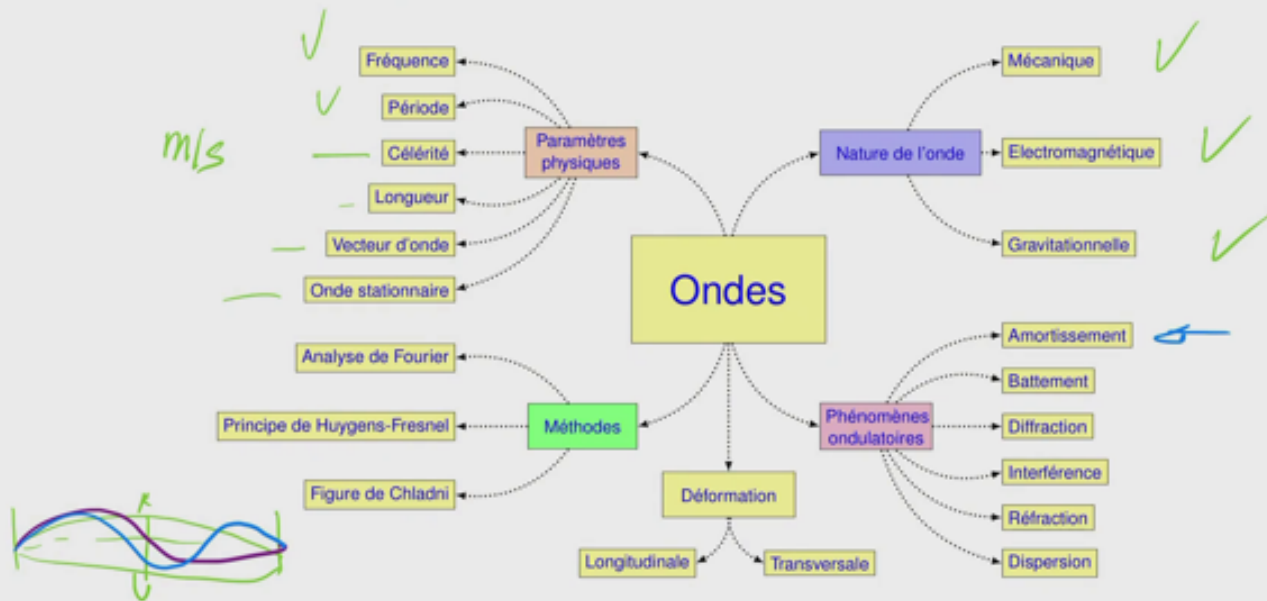
notes

résumé

54m 58s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



les choses, qu'on dit les coordonnées polaires, où on représente les choses en fonction

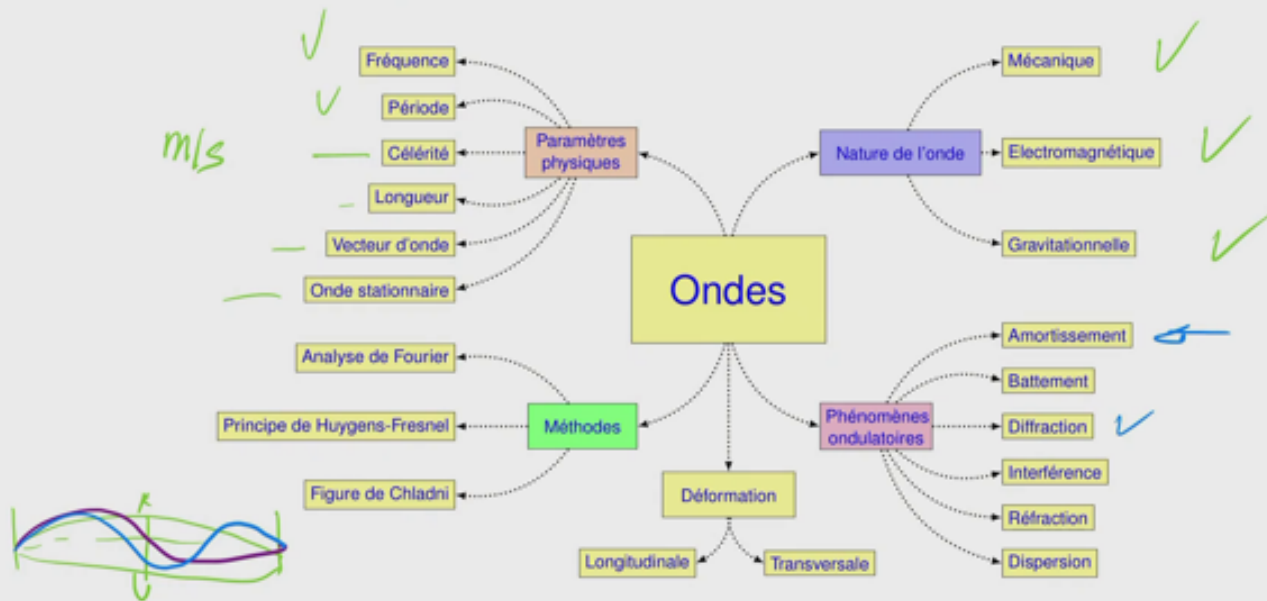
notes

résumé

55m 1s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



de l'angle à laquelle on les regarde et la distance à laquelle elles sont. Et vous

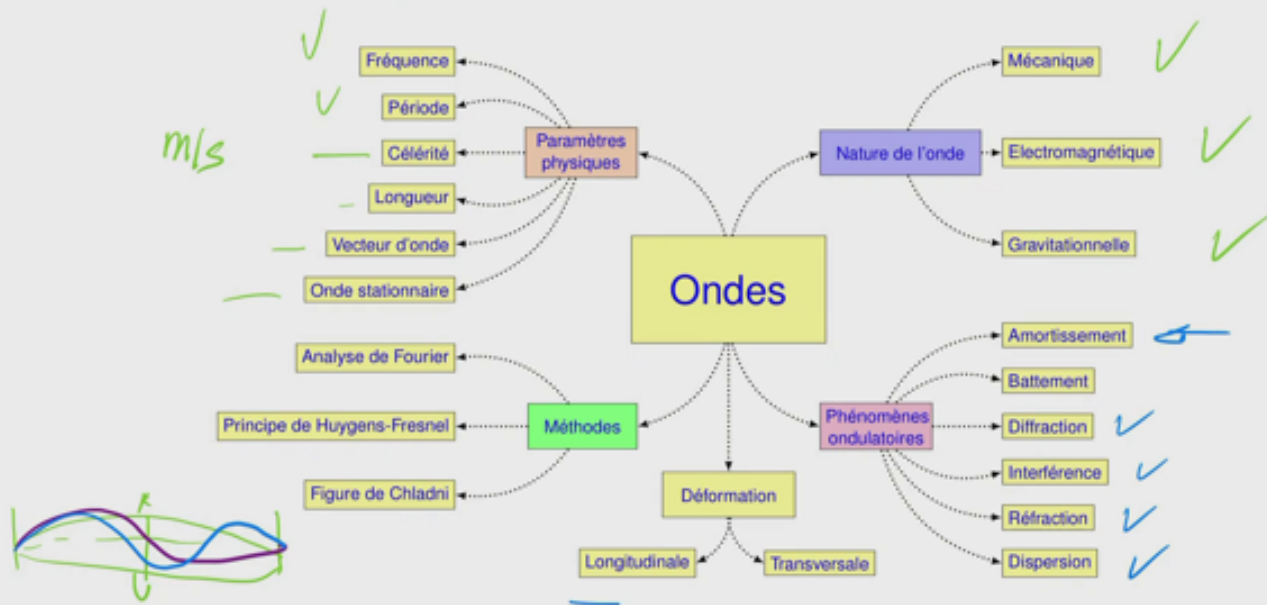
notes

résumé

56m 32s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



avez ça représenté dans des équations de temps où on dirait voilà l'angle alpha,

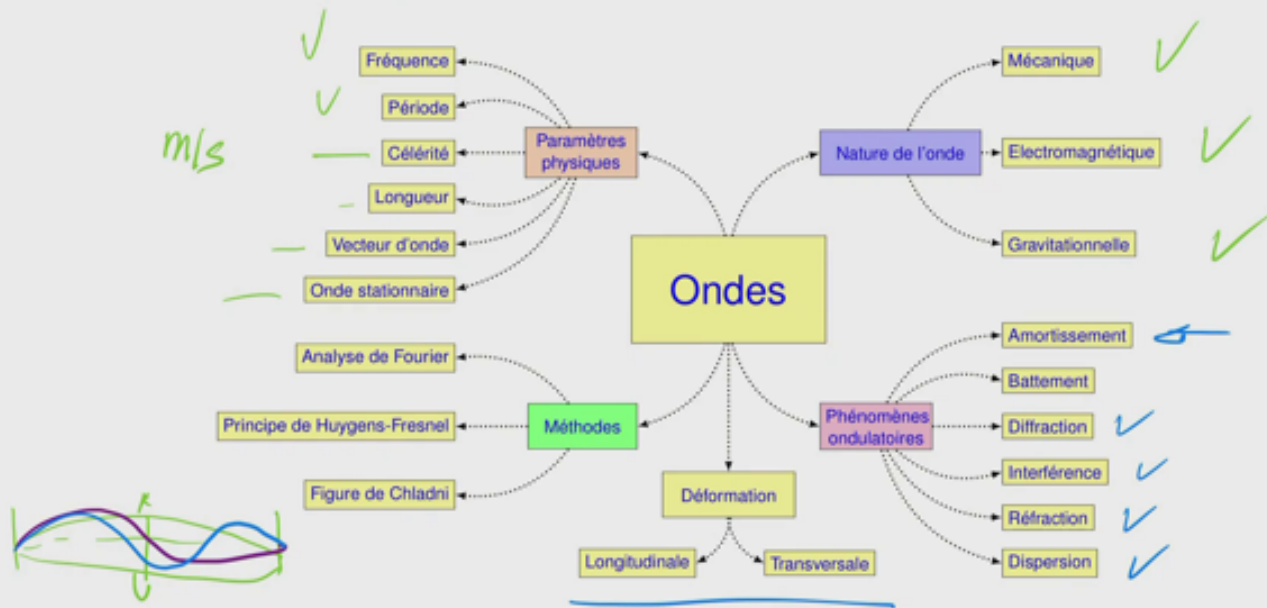
notes

résumé

56m 38s



2.1.10 Les concepts liés aux ondes



il était parti dans l'angle du départ. Puis après on a tourné, quand le temps a

notes

résumé

57m 16s



2.2 Aspects spatio-temporels d'une onde

passé on a une vitesse angulaire et puis on a une distance à laquelle on est, dans

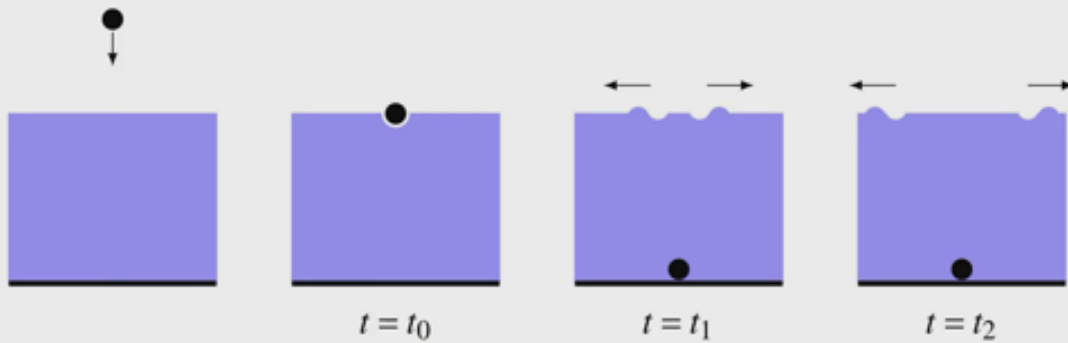
notes

résumé

62m 19s



2.2.1 Propagation d'une onde de surface



On laisse tomber une bille qui atteint la surface libre d'un liquide. La surface libre est déformée. Par continuité la déformation est transmise aux points voisins et une ride circulaire se propage à partir du point d'impact.

ce cas là on la change pas, c'est une constante, on peut imaginer une spirale, ça veut dire

notes

résumé

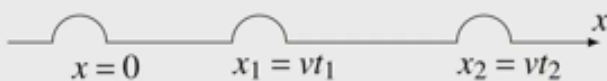
62m 49s



2.2.2 Description mathématique de la propagation

 $u(t, x)$

- Soit un point $M(x, y, z)$ de l'espace (euclidien)
- Soit un processus physique qui provoque la variation d'une grandeur physique G en M au cours du temps et qui est décrit par une fonction $g_M(t)$
- Si on considère un point M' proche de M , par continuité, on observera une variation de G en (x', y', z') qui sera décrit par une loi $g_{M'}(t)$ similaire



- On considère une fonction $f(u)$ dont la variable dépend linéairement d'une variable d'espace x et du temps t

$$u = t \pm \frac{x}{v}$$

v est homogène à une vitesse

- On peut alors écrire

$$g_M(x, t) = f(u) = f\left(t \pm \frac{x}{v}\right) \quad (2.4)$$

- Il s'agit bien d'une propagation à la vitesse v puisque $f(t=0, x=0) = f(t_1, x_1 = vt_1) = f(t_2, x_2 = vt_2)$

air va augmenter linéairement et l'angle va aussi augmenter linéairement. On arrive à décrire des mouvements avec ces coordonnées polaires. Et puis quand on doit passer de l'un à l'autre, c'est important de se souvenir de sa trigonométrie et c'est là où on a besoin de ces fameuses fonctions trigonométriques. Le sinus et le cosinus. Et c'est important pour pas mal de problèmes de physique de comprendre que le cosinus, c'est la projection verticale, c'est cette valeur ici et que le sinus c'est la projection quand on projette horizontalement, donc c'est la distance verticale quand on va voir sur l'axe. J'ai l'impression que ces choses là devraient être connues, vous avez déjà fait largement ça dans le premier semestre, donc je passe là rapidement. Mais ce qui est intéressant, c'est que pour ces, pourquoi je vous parle de ça, mais on pourrait être sûr que ça s'est su, parce que si on veut décrire un mouvement périodique, on va utiliser ces fonctions sinusoidales. Alors là, dans le cadre d'un pendule, ça paraît assez simple, on arrive aux fonctions sinusoidales parce qu'on a un angle ici. Mais si vous avez un oscillateur harmonique, un ressort qui monte et qui descend, vous voyez pas où il y a des angles, vous allez aussi représenter ça avec une fonction sinusoidale. Et quand on a une fonction sinusoidale, on a une certaine période. Donc si vous voulez, vous avez deux points qui sont placés de la même manière où le système est dans le même système, on appelle période le temps, le temps minimum entre ces deux points qui vont être les mêmes. Là c'est le terme de période. Il y a un terme important aussi qui est le terme de la pulsation. C'est un peu la même chose que la période, plutôt que

notes

résumé

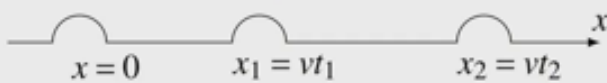
63m 55s



2.2.2 Description mathématique de la propagation

 $u(t, x)$

- Soit un point $M(x, y, z)$ de l'espace (euclidien)
- Soit un processus physique qui provoque la variation d'une grandeur physique G en M au cours du temps et qui est décrit par une fonction $g_M(t)$
- Si on considère un point M' proche de M , par continuité, on observera une variation de G en (x', y', z') qui sera décrit par une loi $g_{M'}(t)$ similaire



- On considère une fonction $f(u)$ dont la variable dépend linéairement d'une variable d'espace x et du temps t

$$u = t \pm \frac{x}{v}$$

v est homogène à une vitesse

- On peut alors écrire

$$g_M(x, t) = f(u) = f\left(t \pm \frac{x}{v}\right) \quad (2.4)$$

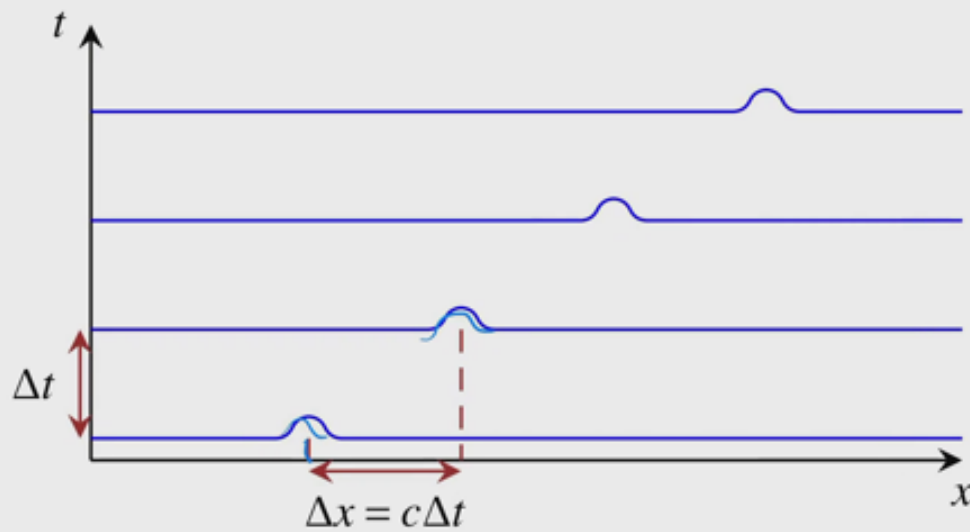
- Il s'agit bien d'une propagation à la vitesse v puisque $f(t=0, x=0) = f(t_1, x_1 = vt_1) = f(t_2, x_2 = vt_2)$

la fréquence. Donc ce qui nous intéresse, c'est de savoir après combien de temps je me retrouve dans le même système. Donc là j'ai quelque chose que j'appelle la période. Mais je peux dire que c'est un sur la fréquence. La fréquence, donc si un phénomène arrive toutes les deux secondes, sa fréquence va être une demi. L'un est le rapport entre la période et la fréquence, l'un est l'inverse de l'autre. Par contre ça c'est des tours entiers. Mais quand on va utiliser les fonctions trigonométriques, ce qu'on a à l'intérieur de la fonction trigonométrique, ça peut pas être la fréquence parce que c'est pas la fonction numérique, je compte pas le nombre de tours. Je compte comment j'ai complété mon tour. Donc c'est un angle que j'ai à l'intérieur. Donc si je voulais écrire ça correctement avec une fonction trigonométrique, avec la fréquence, je devrais dire sinus de $2\pi \times f$ et puis ensuite, il y aura éventuellement le temps. Alors ce $2\pi \times f$, donc c'est non pas un nombre de tours par seconde, mais c'est un nombre de radians par seconde. C'est pour ça qu'il y a un rapport de 2π entre les deux parce que 2π radian, ça fait un tour. Et bien on l'appelle, on l'aime bien lui donner la lettre. Omega, on va mettre un double V si ça vous embête quand vous tapez un texte et puis ça

notes

résumé

2.2.2 Phénomène spacio-temporel



s'appelle la pulsation. Et donc puisque t est égal à 1 sur f , vous avez que t est égal à 2π sur Ω . C'est pour ça que j'étais aussi étudiant, ça m'embêtait ces piqués arrivés à un moment là où on avait peut-être pas forcément envie. Mais en fait il suffit de vous reporter au fait que la période

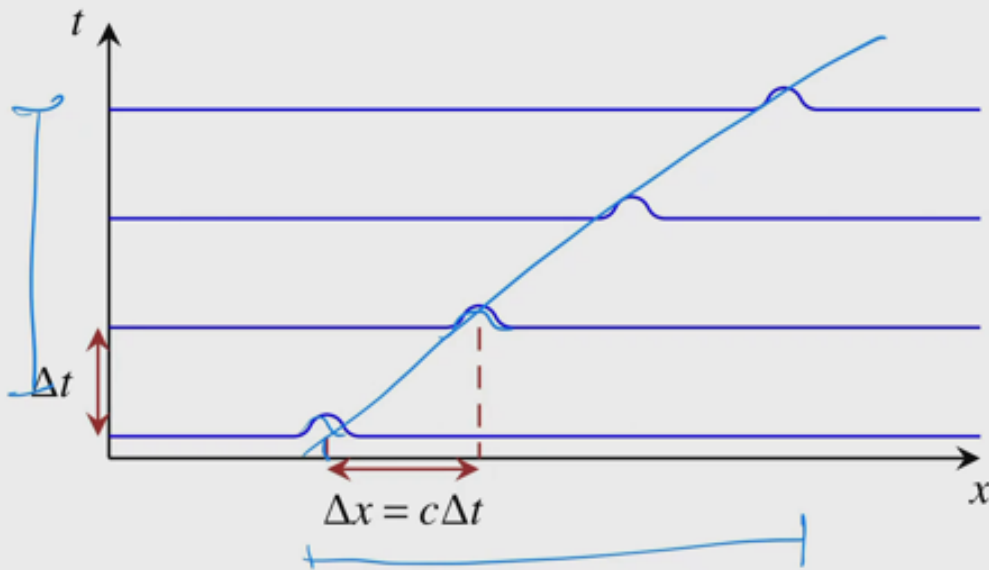
notes

résumé

70m 4s



2.2.2 Phénomène spacio-temporel



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

19 / 64

elle est toujours liée à faire un tour. Donc ça veut dire que si vous avez une fonction sinusoidal, je vais prendre un cosinus cette fois, cosinus, fois quelque chose, donc je vais mettre une valeur A et puis qui va dépendre du temps, et bien il faut vous dire j'ai besoin de faire un tour. Donc ça veut

notes

résumé

70m 31s



2.2.4 Ondes Transversales et Longitudinales (II)

Comprendre la distinction entre les ondes transversales et longitudinales est essentiel dans divers domaines, de la physique des ondes à la compréhension des phénomènes naturels tels que les séismes. Les propriétés de ces ondes influencent leur comportement et leurs applications dans différents contextes scientifiques et technologiques.

dire qu'on sait que j'ai fait un tour, c'est quand le temps il vaut la période. Donc vous pouvez toujours écrire à x , pardon excusez-moi, à x t est égal à 2π . J'ai fait un tour parce que pendant le temps, la période t , j'ai fait un tour. C'est comme ça vous pouvez retrouver les choses. Donc vous avez toujours cette relation entre ces trois éléments qui apparaissent assez souvent. Et c'est en fait la même information. Si je vous donne la période ou je vous donne la fréquence ou je vous donne la pulsation,

notes

résumé

71m 4s



2.2.5 Phénomènes ondulatoires

Les ondes sont liées à des phénomènes qui leur sont spécifiques et les distinguent des objets particuliers:

- Amortissement
- Battement
- Diffraction
- Interférence
- Réfraction
- Dispersion

Une question d'examen typique: expliquer un de ces phénomènes ondulatoires avec ses propres mots

c'est la même information, c'est le même mouvement. Seulement une fois je vous donne l'information

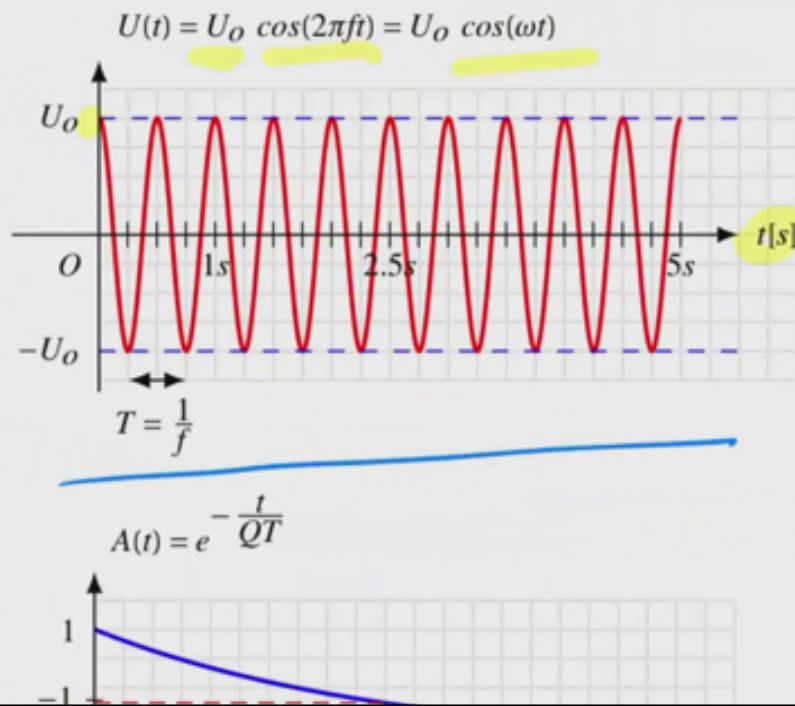
notes

résumé

71m 44s



qu'elle transporte.



- Ce phénomène produit de l'exponentielle
- Une manière est de le re

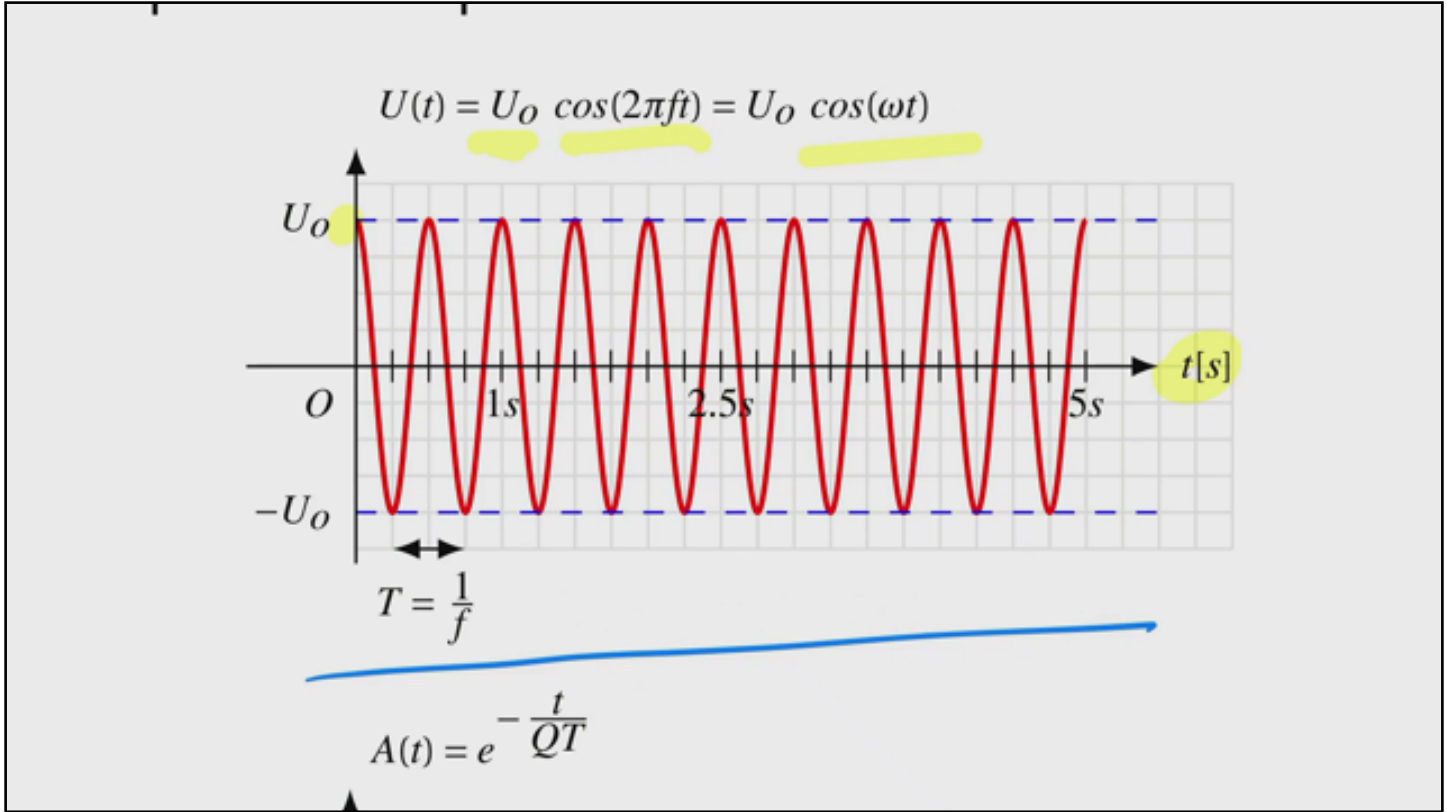
sur le temps pour faire un tour, dans l'autre décade, je vous donne l'inverse, je vous donne la fréquence, c'est combien de temps, combien de tours dans une unité de temps, la fréquence, et puis la pulsation, c'est combien de radians dans une unité de seconde. Alors une onde, toutes les ondes, qu'elles soient électromagnétiques ou qu'elles soient de pression, elles ont d'états de points communs. Alors là, il y a des choses dont j'ai déjà parlé. Donc j'ai déjà dit qu'on pourrait avoir des ondes de type mécanique, électromagnétique ou gravitationnelle. Là maintenant, je vous ai un peu parlé de certains paramètres. Je vous ai parlé de la fréquence et puis qui sont liées à la période. Puis maintenant, comme l'onde est un phénomène qui se passe dans le temps, là vous avez un exemple, je peux vous montrer un exemple d'onde. Je vais faire une perturbation sur le système ici et puis la perturbation, elle se propage. Donc quand j'analyse une onde, ça c'était juste une perturbation.

notes

résumé

71m 54s





Une onde, il y aura une suite de perturbations. Alors après, elle revient et puis après,

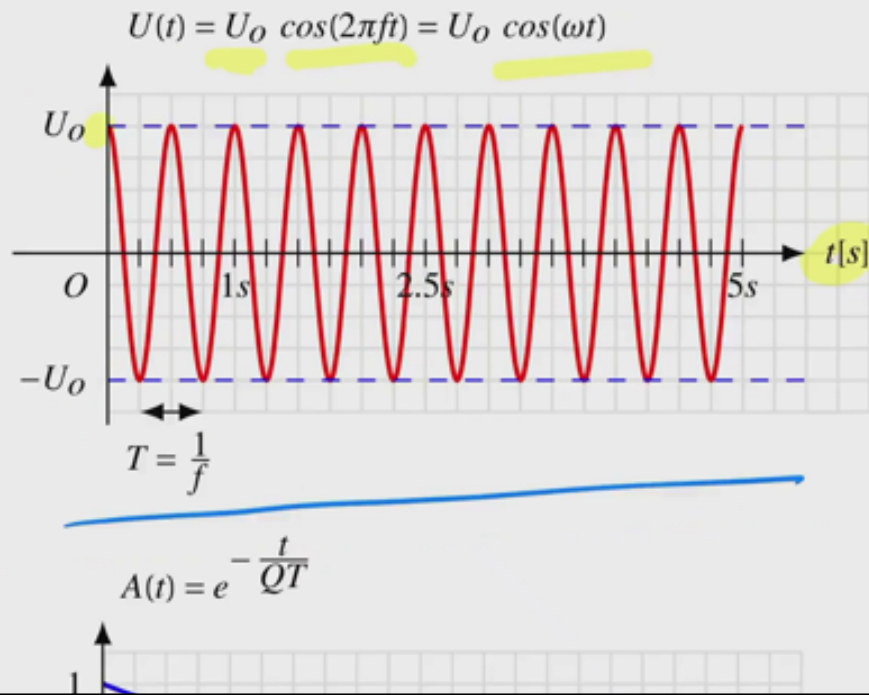
notes

résumé

73m 21s



qu'elle transporte.



vous aurez plutôt un sacré chaos. Donc vous avez des choses qui concernent ce qui se passe dans l'axe du temps. Donc quand on parle de fréquence, de pulsation, de période, on est dans l'axe du temps. Puis je vous ai

notes

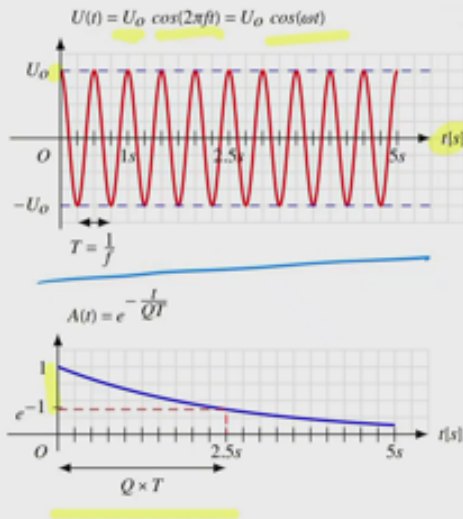
résumé

73m 25s



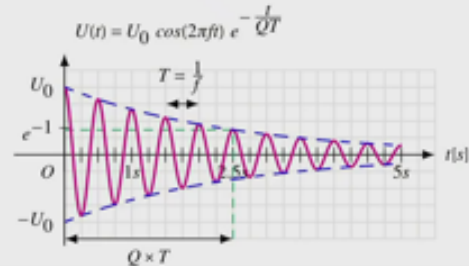
2.2.6 Amortissement

L'amortissement d'une onde est une atténuation de son amplitude par dissipation de l'énergie qu'elle transporte.



- Ce phénomène peut se modéliser par le produit de la fonction d'onde par une exponentielle décroissante $e^{-\alpha t}$.
- Une manière de se représenter ce coefficient α est de le reporter à la période T :

$$\frac{1}{\alpha} = Q T \quad (2.5)$$



dit qu'il y avait une célérité, il y a une manière de se déplacer. Donc une célérité, c'est une distance divisée par un temps. Donc ici, la célérité, c'est la première, donc c'est par exemple des mètres par seconde. Là, je suis sur les deux axes. Je suis sur l'axe du temps et je suis sur l'axe de l'espace. C'est quelque chose qui va se déplacer dans l'espace pendant un certain laps de temps. Et on va avoir aussi par rapport à l'onde la même chose parce qu'on va aussi avoir dans l'espace cette oscillation que si je reste au même endroit que je vois se passer à un endroit donné, si je prends une photo à un moment donné et que je me déplace dans le temps et je gele, je déplace dans l'espace et que je gele le temps, je vais aussi avoir une oscillation. Donc là, je vais avoir quelque chose qui est la longueur d'onde, qui est l'équivalent de la période mais par rapport à l'espace. C'est pas par rapport au temps. Donc c'est aussi la longueur après laquelle je vais retrouver la même situation pour mon système. J'aurais aussi quelque chose qu'on appelle le vecteur d'onde. Ça va être l'inverse de la longueur d'onde et ça va être un vecteur aussi. Ça va me dire dans quelle direction mon onde se déplace. On peut imaginer que mon photon va là, oui, voilà, oui, voilà. Donc j'ai besoin de pouvoir indiquer. Et ça c'est le vecteur d'onde qui le fait. Et puis il y a une autre capacité des ondes. Par exemple ce qui se passe dans une flûte, ce qui se passe sur la corde d'un violon. Ça veut dire qu'il y a certaines fréquences où l'onde qui va avancer dans un sens va se

notes

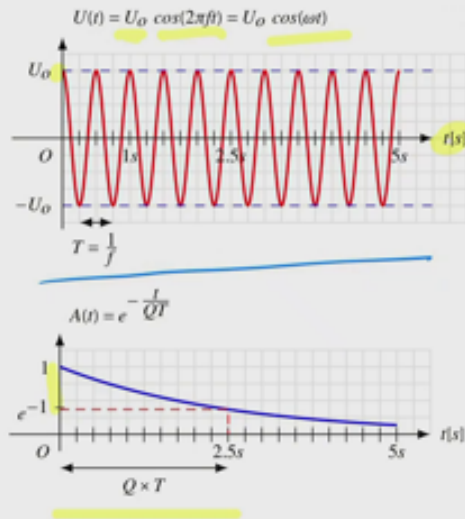
résumé

73m 44s



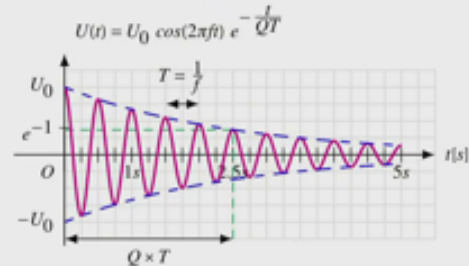
2.2.6 Amortissement

L'amortissement d'une onde est une atténuation de son amplitude par dissipation de l'énergie qu'elle transporte.



- Ce phénomène peut se modéliser par le produit de la fonction d'onde par une exponentielle décroissante $e^{-\alpha t}$.
- Une manière de se représenter ce coefficient α est de le reporter à la période T :

$$\frac{1}{\alpha} = Q T \quad (2.5)$$



combiner avec l'onde qui revient dans l'autre et ça va faire une onde stationnaire. Donc ça veut dire que vous aurez, par exemple, la pression entre le début de votre flûte et la fin de votre flûte. J'ai peut-être plutôt une corde. C'est peut-être plus simple à expliquer. J'aurais trop de choses à expliquer sur une flûte. Donc par exemple, votre corde va osciller comme ça et puis au cours du temps et puis elle va osciller entre ces deux positions. On appelle ça une onde stationnaire. Parce qu'en fait c'était une onde qui allait comme ça, qui rencontre une onde, qui allait dans l'autre sens à la même vitesse et qui vont finalement être stationnaires, elles vont plus se déplacer. Dans le temps, vous allez juste avoir l'onde qui va se déplacer comme ça.

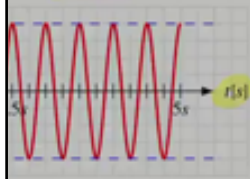
notes

résumé

ement

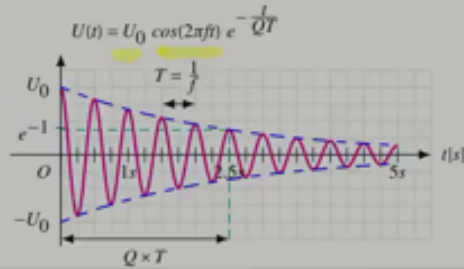
Une onde est une atténuation de son amplitude par dissipation de l'énergie

$$= U_0 \cos(\omega t)$$



- Ce phénomène peut se modéliser par le produit de la fonction d'onde par une exponentielle décroissante $e^{-\alpha t}$.
- Une manière de se représenter ce coefficient α est de le reporter à la période T :

$$\frac{1}{\alpha} = Q T \quad (2.5)$$



Physique Générale II

March 16, 2025

23 / 64

Mais la forme va être la même en ayant des noeuds et un ventre. Et puis vous aurez celle-ci mais vous aurez aussi, je vais changer de couleur, vous aurez aussi la possibilité d'avoir celle-ci et vous aurez aussi celle qui est en trois, je vais changer encore de couleur, celle qui va être comme ça, etc. Vous en avez plein comme ça que vous pouvez avec un tiers de la distance, un quart de la distance, un cinquième de la distance, un sixième de la distance, etc.

notes

résumé

76m 13s



Sous critique

Critique

Sur critique



C'est toujours une fraction parce que vous devez toujours avoir, vous avez toujours votre corde qui est bloqué aux deux extrêmes. Donc, vous pourriez deux extrêmes, je ne peux pas bouger. Donc, votre onde stationnaire. Je ne vais pas rentrer plus dans les ondes stationnaires mais ça c'était pour faire la liste des différents éléments qui sont des paramètres typiques des ondes et que vous allez retrouver dans les ondes sonores, vous allez retrouver dans les ondes électromagnétiques. Et puis, ça va être pour la fin de cette leçon, il y a un certain nombre de phénomènes qui sont typiquement des phénomènes ondulatoires, peut-être juste le premier un peu différent. L'amortissement, c'est clair que ça aussi ça mordit. Donc l'amortissement n'est pas que pour un système d'onde. Mais si vous, quand vous sortez de là, vous serez tout heureux comme des jeunes enfants, vous vous écrivez dans le prého, votre son ne va pas aller jusqu'à la fin de la Terre. Au bout d'un moment, il va s'amortir. C'est ça. Donc la perturbation, au bout d'un moment, elle va perdre son intensité petit à petit, elle va disparaître. Donc ça, ce n'est peut-être pas le plus typique des ondes mais c'est quand même le premier. Il y a quelque chose qu'on appelle le battement, je vais vous expliquer. Après, il y a quelque chose qu'on appelle la diffraction, l'interférence, la réfraction, la dispersion. Je vais vous montrer tous ces phénomènes-là. Et ça, c'est vraiment des phénomènes qui sont typiques des ondes. Ça veut dire que si vous avez une onde, vous devez les retrouver. Autrement, ça veut dire qu'il y a un problème où vous n'avez mal défini votre onde ou ce n'est pas exactement une onde. Et ces phénomènes-là, vous n'allez pas les retrouver dans un phénomène particulier. Et

notes

résumé

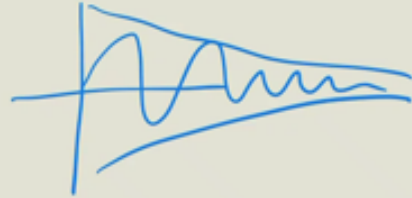
76m 44s



Sous critique

Critique

Sur critique



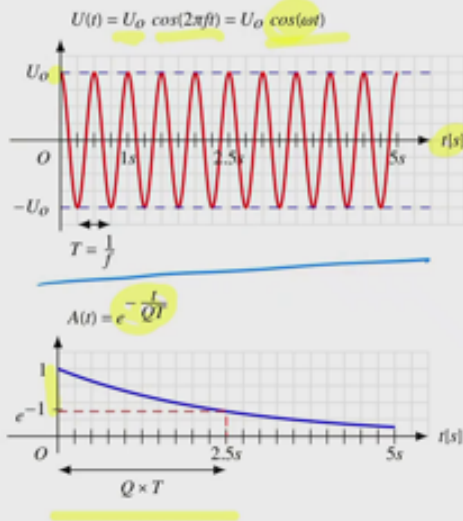
c'est de là que vont venir les grandes disputes entre est-ce que la lumière est une onde une particule, parce que, de temps en temps, il se passait ces phénomènes-là et de temps en temps, on n'arrivait pas à les observer. Ensuite, une autre caractéristique des ondes, c'est de savoir si une onde est longitudinal ou transversale. Alors, je vais vous montrer une onde transversale.

notes

résumé

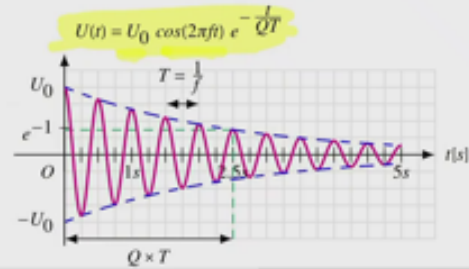
2.2.6 Amortissement

L'amortissement d'une onde est une atténuation de son amplitude par dissipation de l'énergie qu'elle transporte.



- Ce phénomène peut se modéliser par le produit de la fonction d'onde par une exponentielle décroissante $e^{-\alpha t}$.
- Une manière de se représenter ce coefficient α est de le reporter à la période T :

$$\frac{1}{\alpha} = QT \quad (2.5)$$



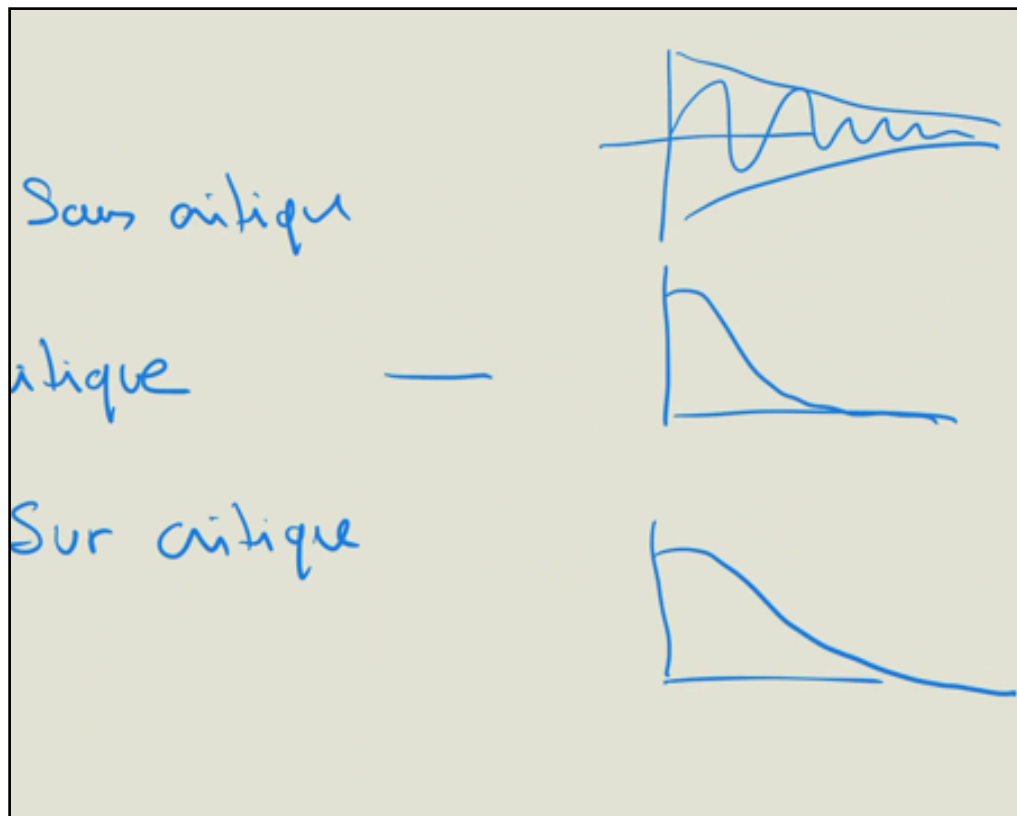
La terre est basse. Donc là, j'ai une corde et puis si je fais une perturbation sur mon onde, ma perturbation part jusqu'à l'endroit où elle est attachée et puis elle revient. En fait, je ne sais pas si vous avez réussi à le voir, mais comme c'est une déformation qui est convexe, elle revient concave, parce qu'elle a changé de signe à l'autre sens. Et puis plus je serais tendu, plus elle ira vite. Tellement vite, vous ne la voyez même pas, mais moi je la sens, ça revient beaucoup plus vite.

notes

résumé

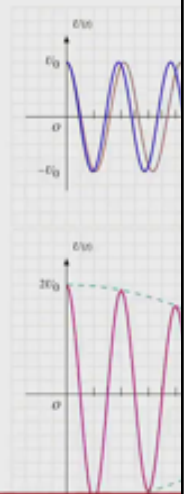
78m 55s





2.2.7 Batte

Le phénomène
additionnés:



Jean-Marie Fürbringer - EPF

Donc ça, c'est une onde qui est transverse.

notes

résumé

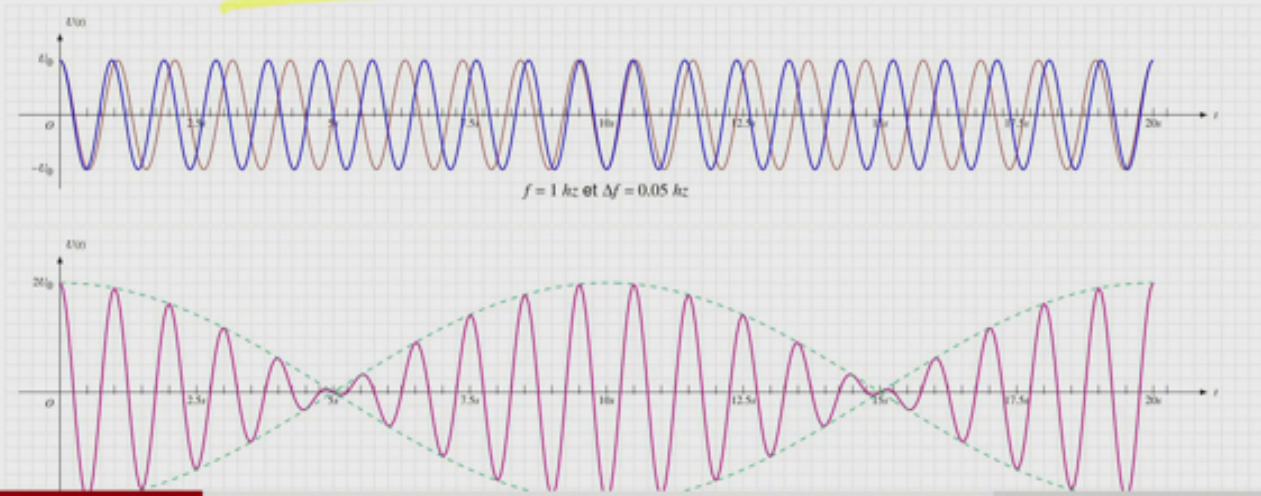
79m 36s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

ou dans un son, combien est-ce que j'ai de d'autres, combien j'ai de ré, combien j'ai de mi, puis je peux avoir les intensités. Et puis on a comme ça un son composé, on pourra le décomposer. Ça, c'est pour le son, mais pour la lumière, on va pouvoir voir combien est-ce que j'ai de rouge, combien est-ce que j'ai de bleu, combien est-ce que j'ai de jaune, etc. Donc ça, c'est l'analyse de Fourier qui va nous permettre de déterminer les différentes composantes de l'onde finale. Ce qu'on appelle le principe de Wiggins-Frenel, c'est un principe qui va nous permettre de comprendre ce qui se passe en optique, mais aussi avec des ondes sonores, c'est de dire qu'au fond, je ne sais pas si j'ai déjà cité, je pense, dans les premiers chapitres, c'est le fait que quand mon onde arrive à un endroit, je vais considérer cet endroit comme une nouvelle source de l'onde, de là, elle va se répartir de manière uniforme et sphérique. Donc c'est ça le principe de Wiggins-Frenel qui permet dans certaines situations de faire des calculs sur comment se comporte une lentille, comment se comporte un prisme, etc. Puis ce qu'on appelle les figures de Clatny, c'est par exemple si vous mettez du sable sur un tambour, puis que vous tapez sur votre tambour, vous allez voir ces différentes zones que j'ai créées dans mon slide là avec les ondes stationnaires. Dans le tambour où vous aurez des zones stationnaires, le tambour il va se diviser en deux, en quatre, en huit, des images assez compliquées. Et le sable, il va aller à l'endroit où vous avez des nœuds, il ne va pas se mettre là où vous avez des ventres. Donc ça va vous permettre de révéler au fond la forme que

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

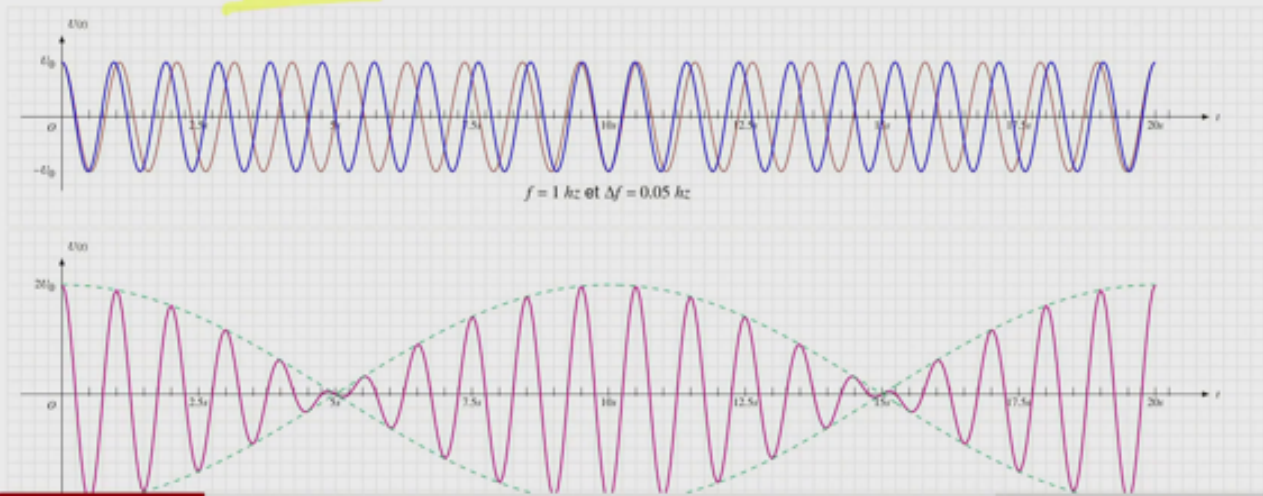
.....

.....

2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin \omega t \sin \Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

vous avez. Et suivant, la fréquence à laquelle on fait varier notre tambour, c'est des images très différentes qui vont se révéler, parce que c'est de nouveau des ondes propres très particulières qui vont se révéler sur la surface. Voilà un petit peu une espèce de panorama avec les différents concepts quand on parle de l'onde.

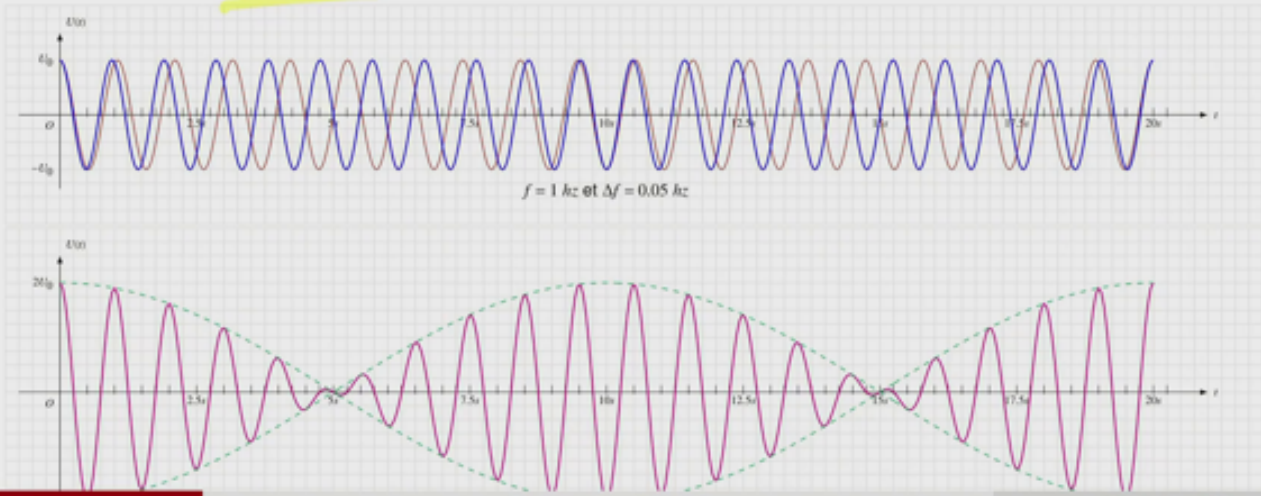
notes

résumé

2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin \omega t \sin \Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

De nouveau, c'est peut-être plutôt pour votre culture générale. C'est vrai qu'en fait tout ce chapitre là de l'optique ondulatoire et des ondes, elle est presque plus descriptive.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

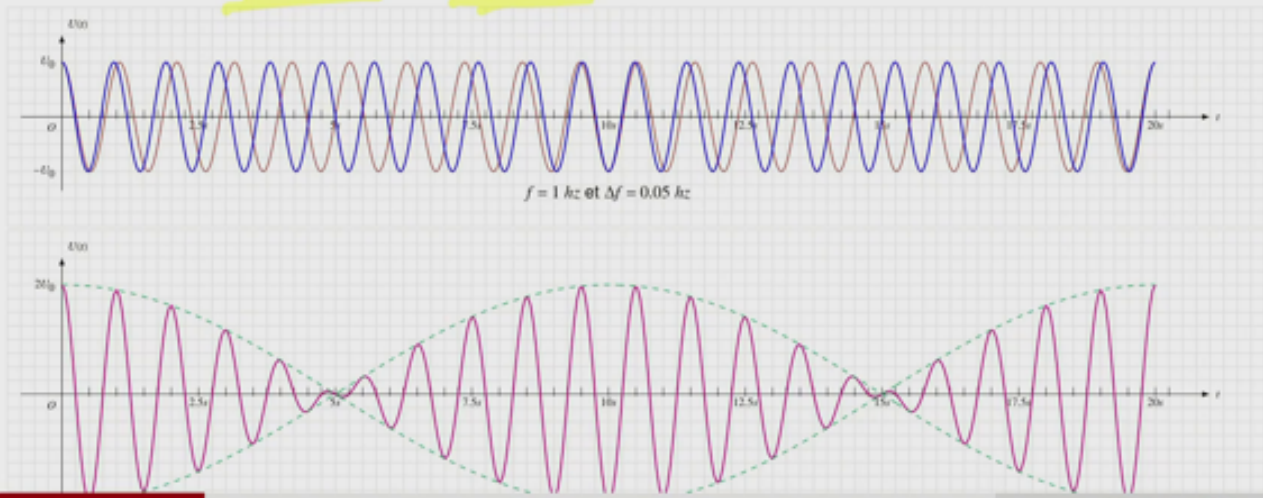
83m 42s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

On n'a pas le temps en deux semaines de vous introduire dans les calculs qui se font. Je suis sûr que ça ne vous enlènera pas, mais c'est vrai que ça m'oblige moi aussi d'avoir un discours plutôt descriptif que démonstratif.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

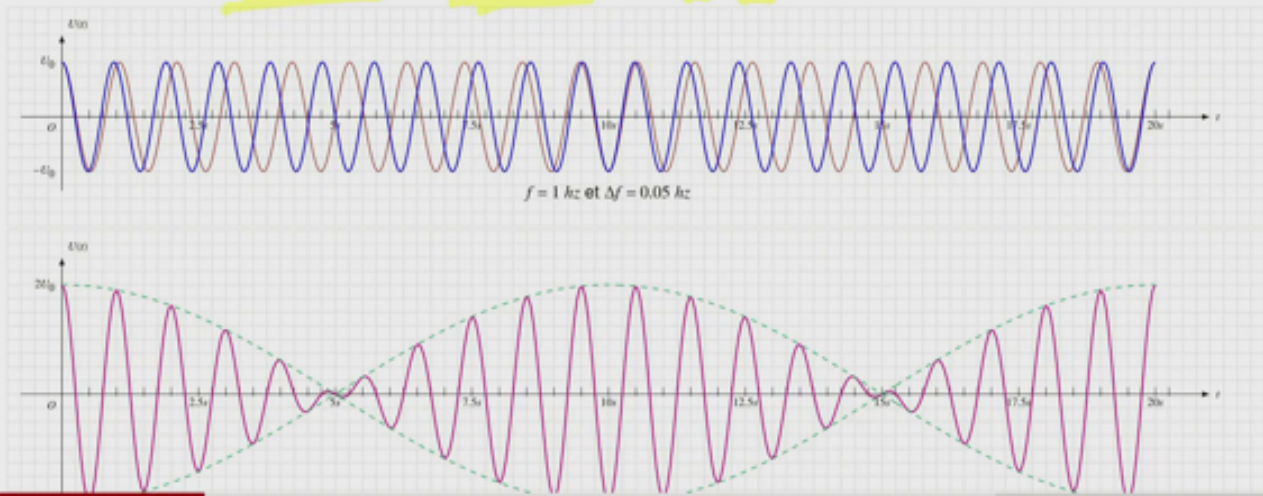
83m 57s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Alors, alors regardez un petit peu les aspects spatiotemporels du monde.

notes

résumé

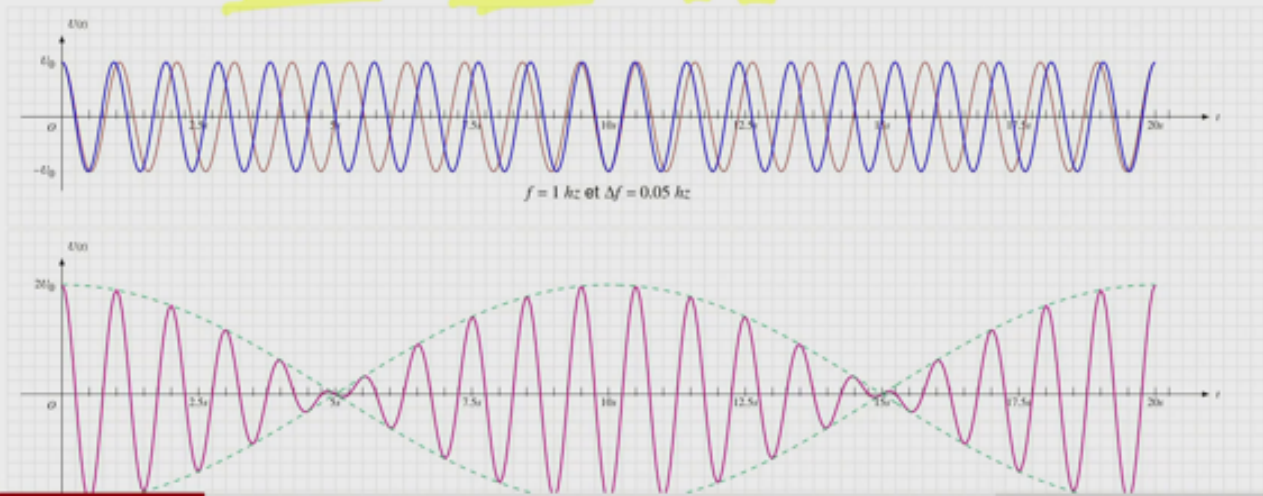
84m 10s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Donc, c'est vrai que si vous prenez un bac et que vous laissez tomber une balle, un certain poids sur la surface de l'eau,

notes

résumé

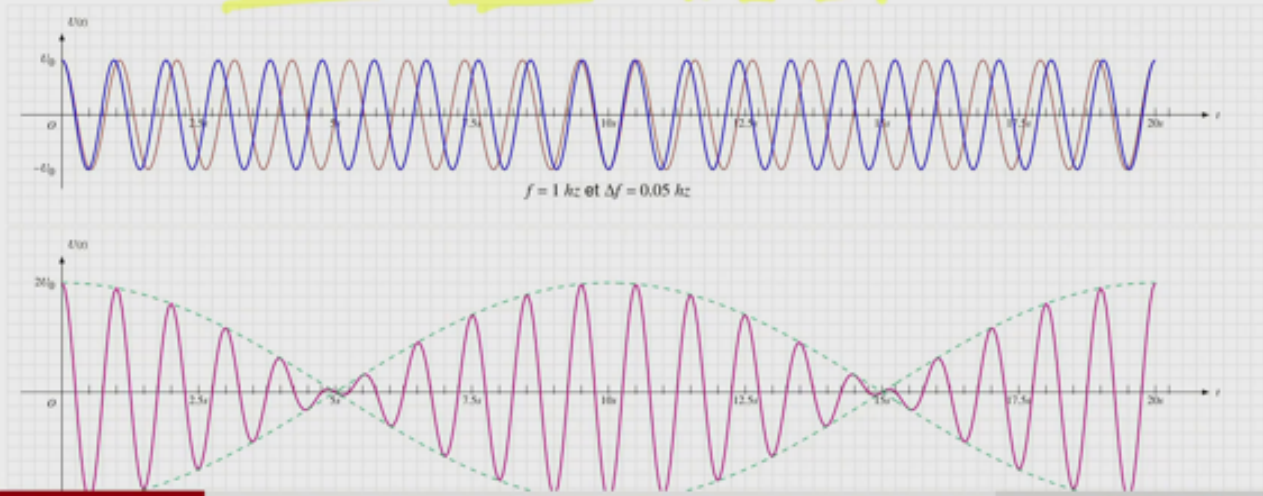
84m 18s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

vous aurez une déformation qui va se propager à la surface de l'eau. Et ça, c'est déjà une onde. Alors, une onde fait juste un impact et il se passe quelque chose et on peut imaginer qu'on continue à provoquer des choses. Donc là, on a un bac à ondes.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

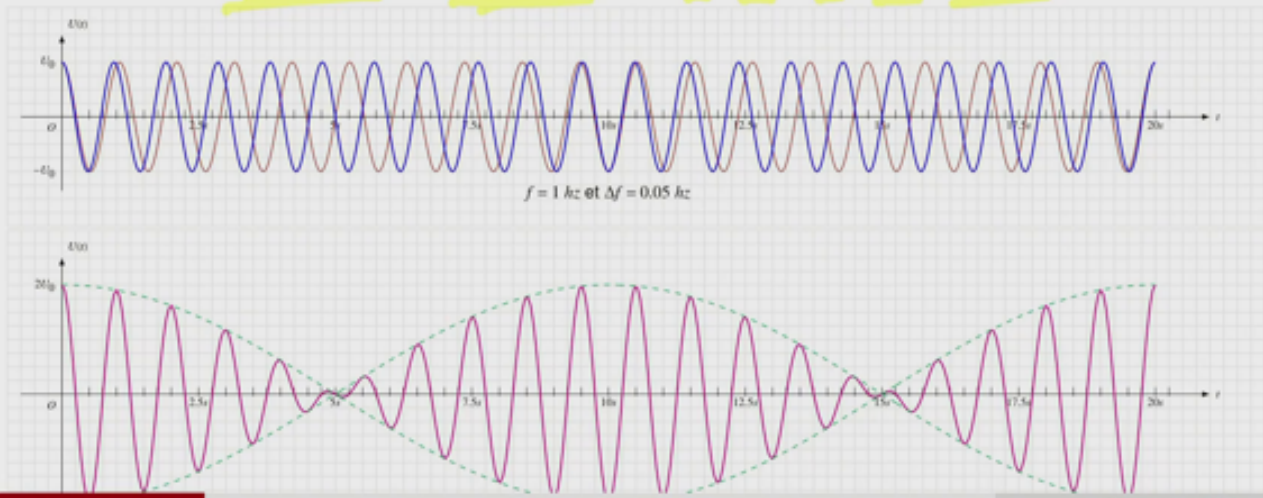
84m 26s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Donc, il y a un petit oscillateur qui va provoquer une onde.

notes

résumé

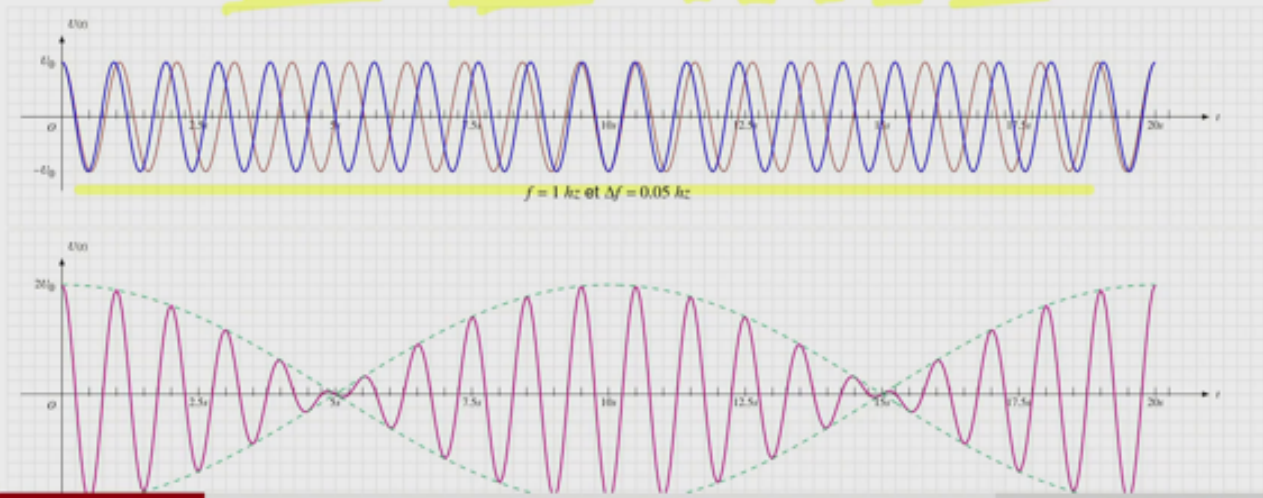
84m 48s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin \omega t \sin \Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Vous ne voyez pas l'onde. Vous voyez le fait que la lumière avec le miroir est réfléctée sur un petit écran trouble.

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

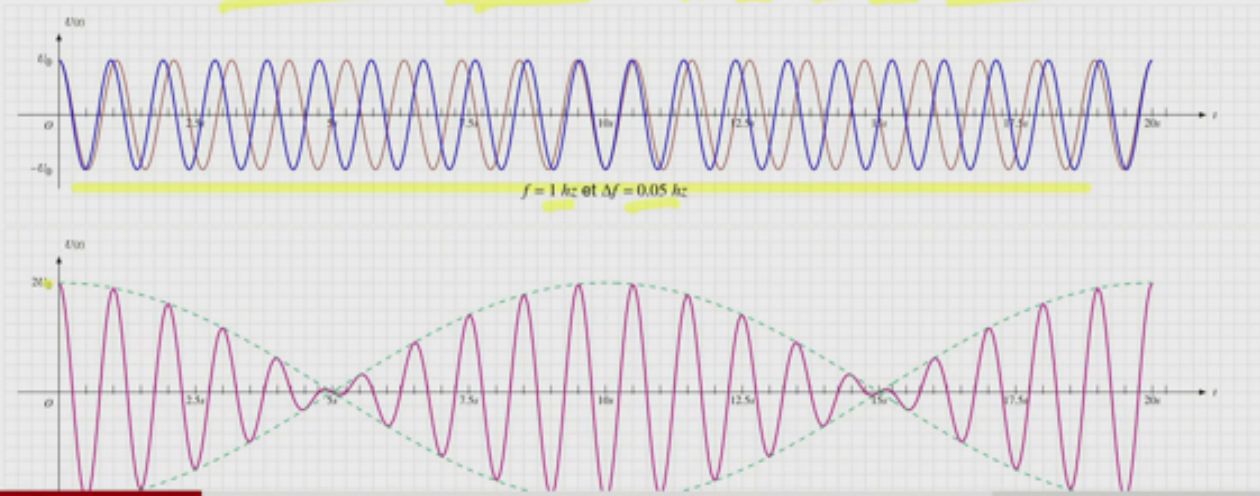
84m 52s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

C'est pour ça que vous voyez progresser, progresser l'onde. Voilà, une généralisation de ça, c'est-à-dire que vous voyez qu'un côté de l'image.

notes

résumé

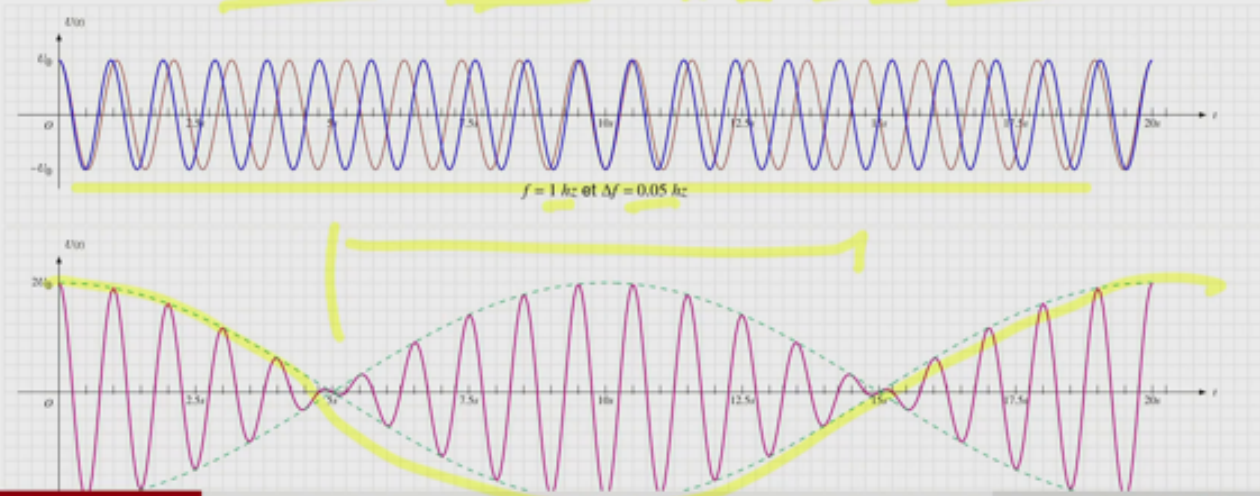
85m 6s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin\omega t \sin\Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Donc, une onde, c'est un phénomène qui se déplace.

notes

résumé

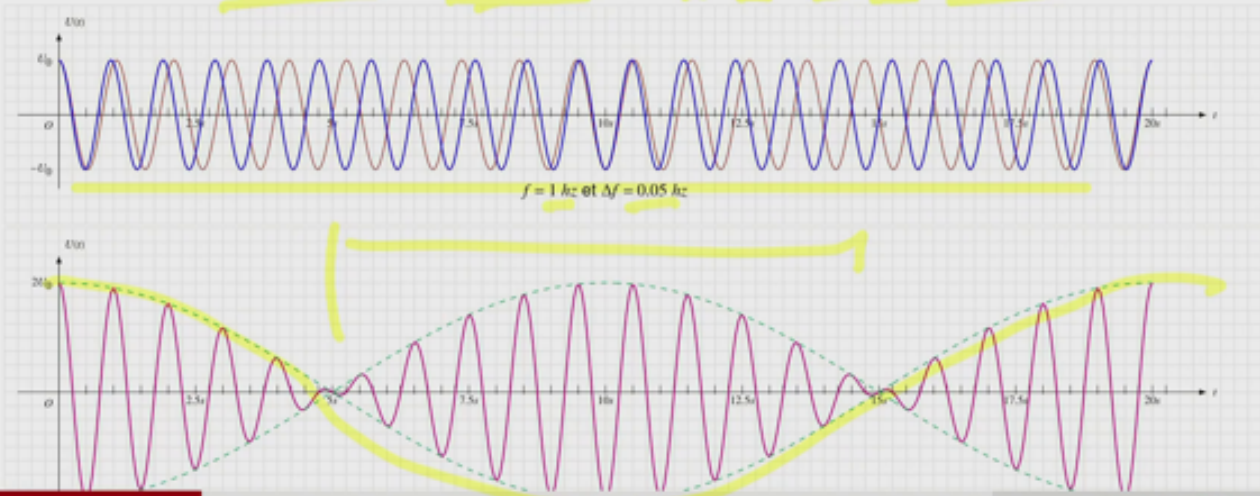
85m 23s



2.2.7 Battement

Le phénomène de battement se produit lorsque deux signaux de fréquences proches sont additionnés:

$$u_1(t) + u_2(t) = U_o \sin(\omega - \Delta\omega)t + U_o \sin(\omega + \Delta\omega)t = 2U_o \sin \omega t \sin \Delta\omega t \quad (2.6)$$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 16, 2025

24 / 64

Qu'est-ce que je fais avec mon stylo? Voilà. Donc, ça veut dire si vous vous placez dans un point dans l'espace, pour faire très générique, je l'ai mis trois coordonnées, mais voilà, vous êtes un point dans l'espace décrit pas, x, y, z,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

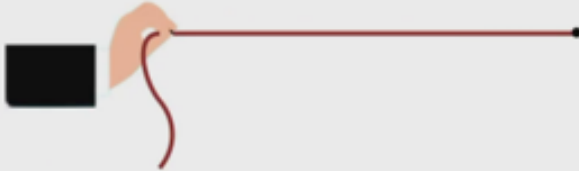
85m 30s



Secousse sur une corde

2.2.9 L

Une corde est fixée à un point A et tenue en main à un point B . Au moment $t = 0$ la main transmet une secousse à la corde.



Comment le système va-t-il évoluer?

un espace euclidien, donc trois dimensions.

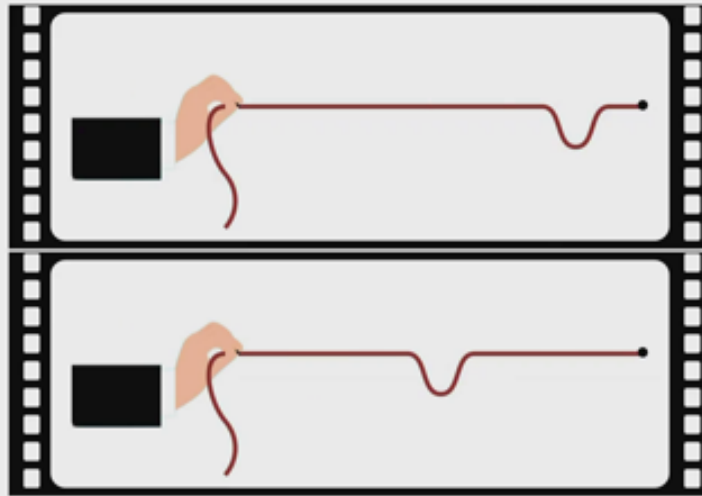
notes

résumé

85m 48s



2.2.10 Le point fixe va réfléchir la perturbation



Et bien, ce qu'on dit, c'est qu'il y a une perturbation d'une valeur physique à cet endroit, la pression. Le champ électrique, dans ce qui nous concerne.

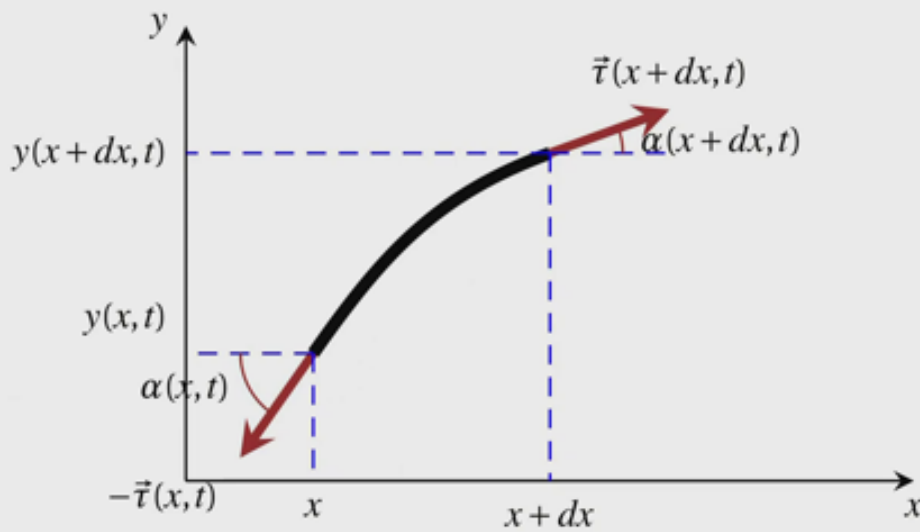
notes

résumé

85m 57s



2.2.11 Que se passe-t-il sur une tranche de la corde?



La déformation est petite :

$$\begin{cases} \sin \alpha \approx \alpha \\ \tan \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha \approx 1 \end{cases}$$

Le mouvement est transversal:

$$\vec{a} = a \hat{e}_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

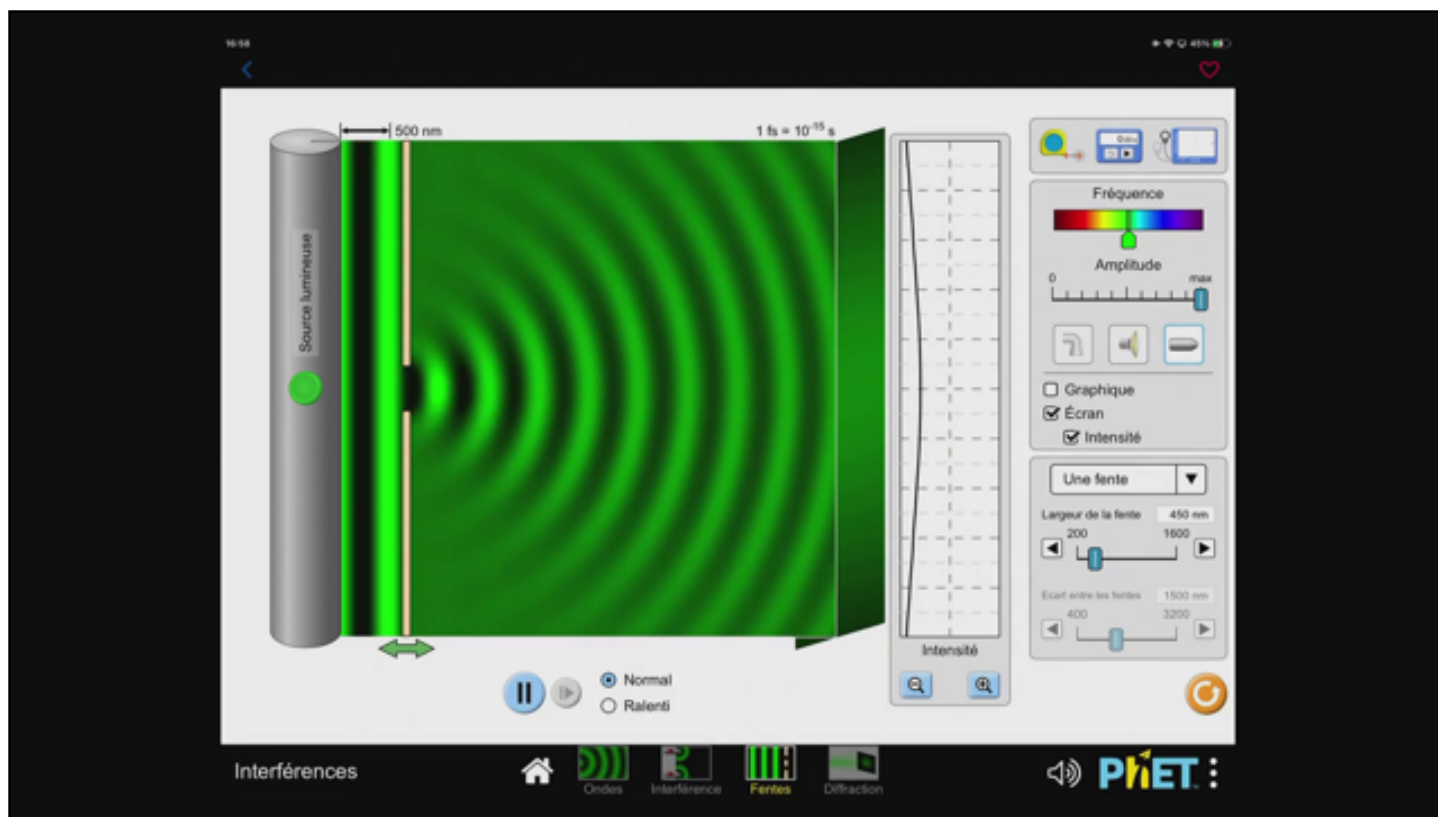
Alors, en ce point M, on va imaginer qu'on a une grandeur physique qu'on appelle G, qui va varier. Donc, ça veut dire qu'on peut écrire une fonction, vous savez pas la forme qu'elle a,

notes

résumé

86m 9s





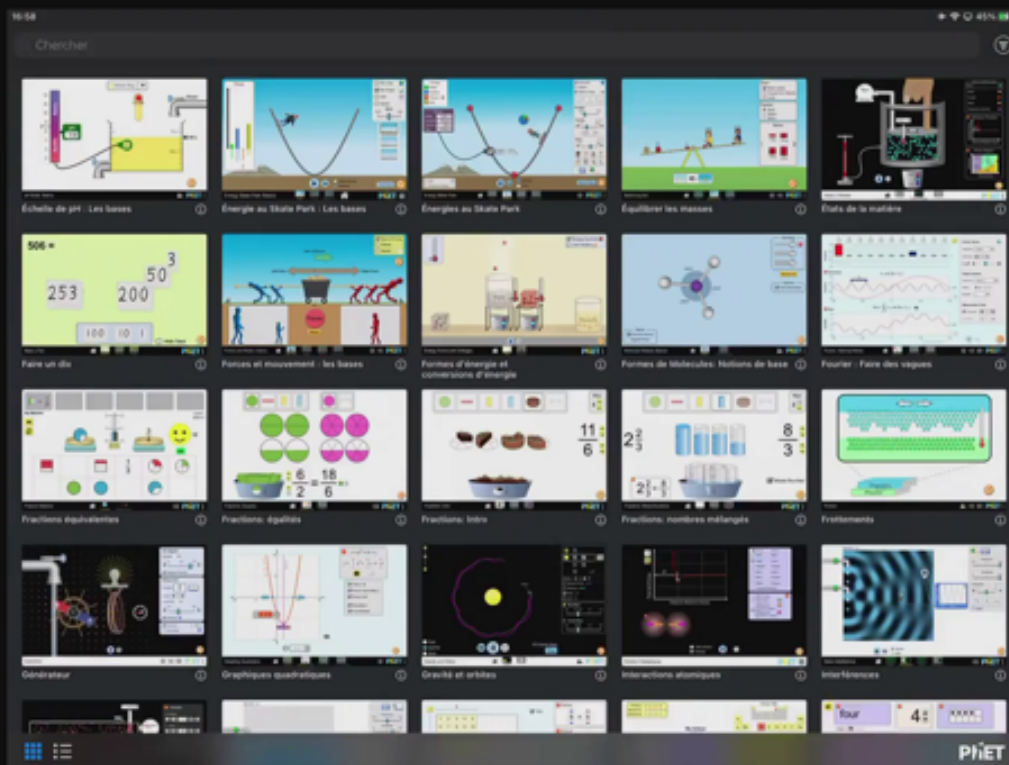
mais ça n'a pas beaucoup d'importance, on va l'appeler Gm2t,

notes

résumé

86m 24s





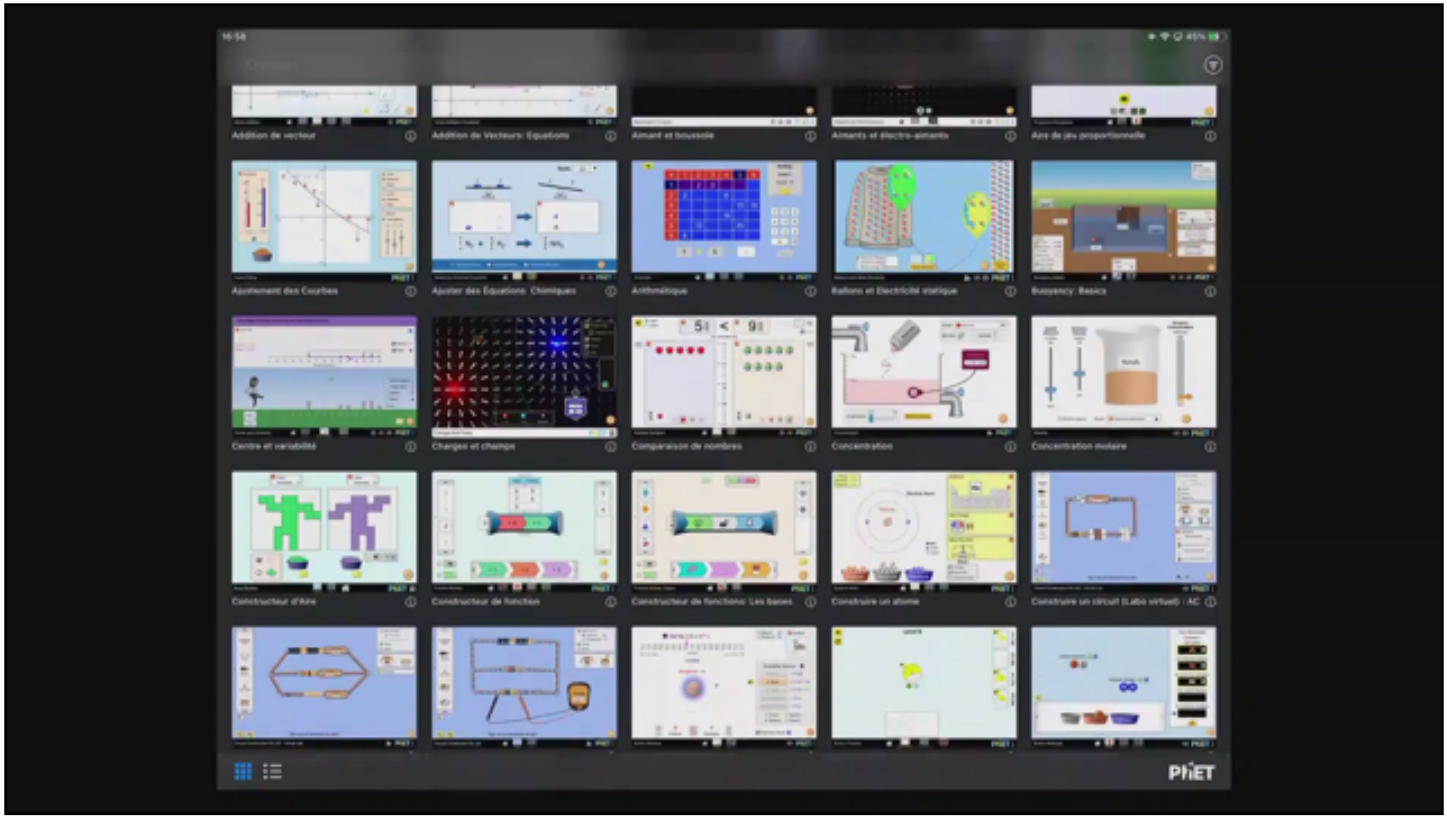
ça veut dire qu'on s'intéresse à décrire la pression à l'endroit M au cours du temps.
Donc, c'est pour ça qu'on écrit comme ça, on met un indice M pour dire où on est dans l'espace, on met la lettre G pour nous souvenir que c'est pour la variable G qu'on est en train de changer des choses,

notes

résumé

86m 30s





et puis, ça va dépendre du temps, parce qu'on cherche à savoir ce qui se passe dans le temps.

notes

résumé





Maintenant, si on considère un deuxième point M' qui est relativement proche,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

86m 51s



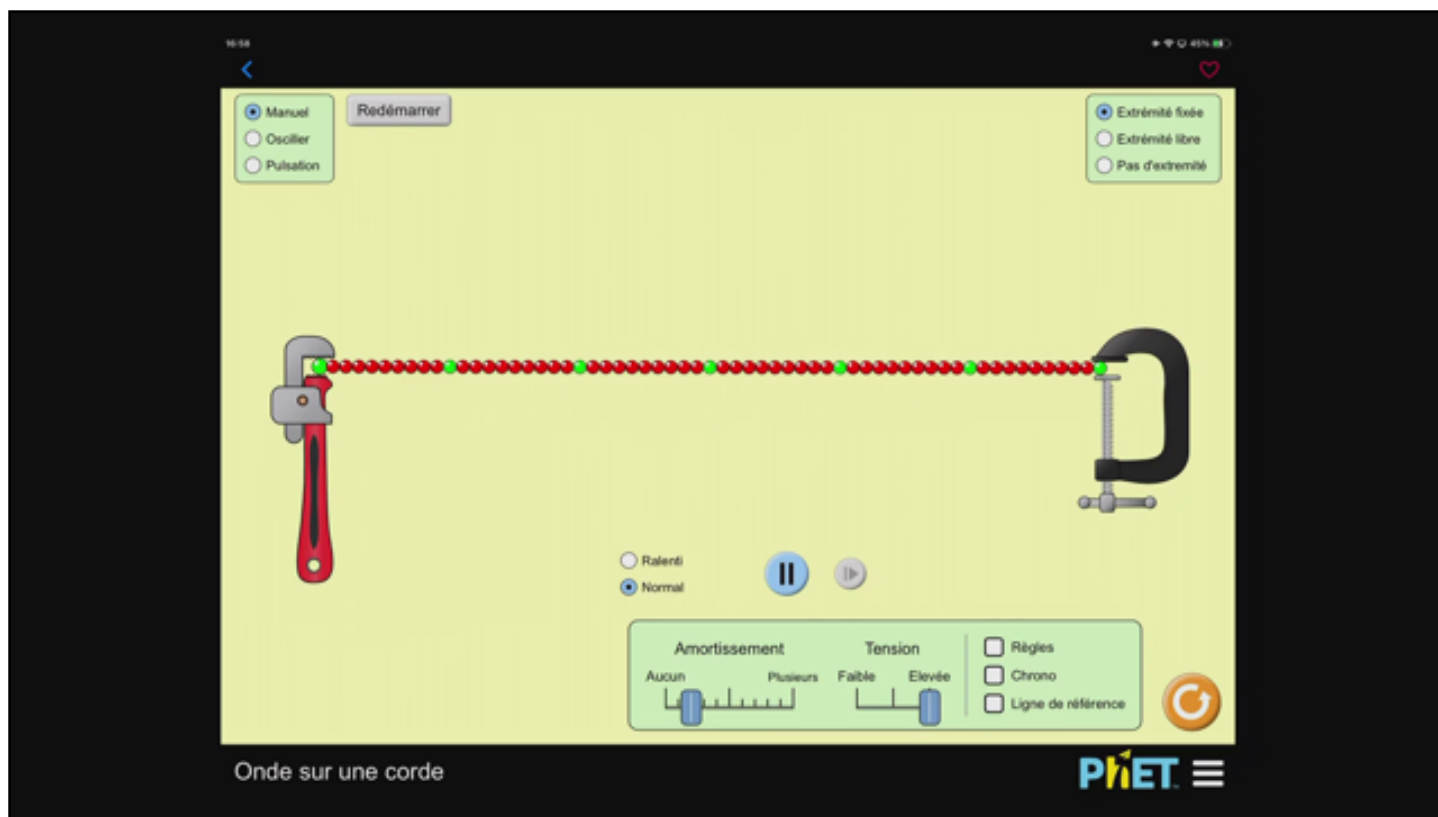
.....

.....

.....

.....

.....



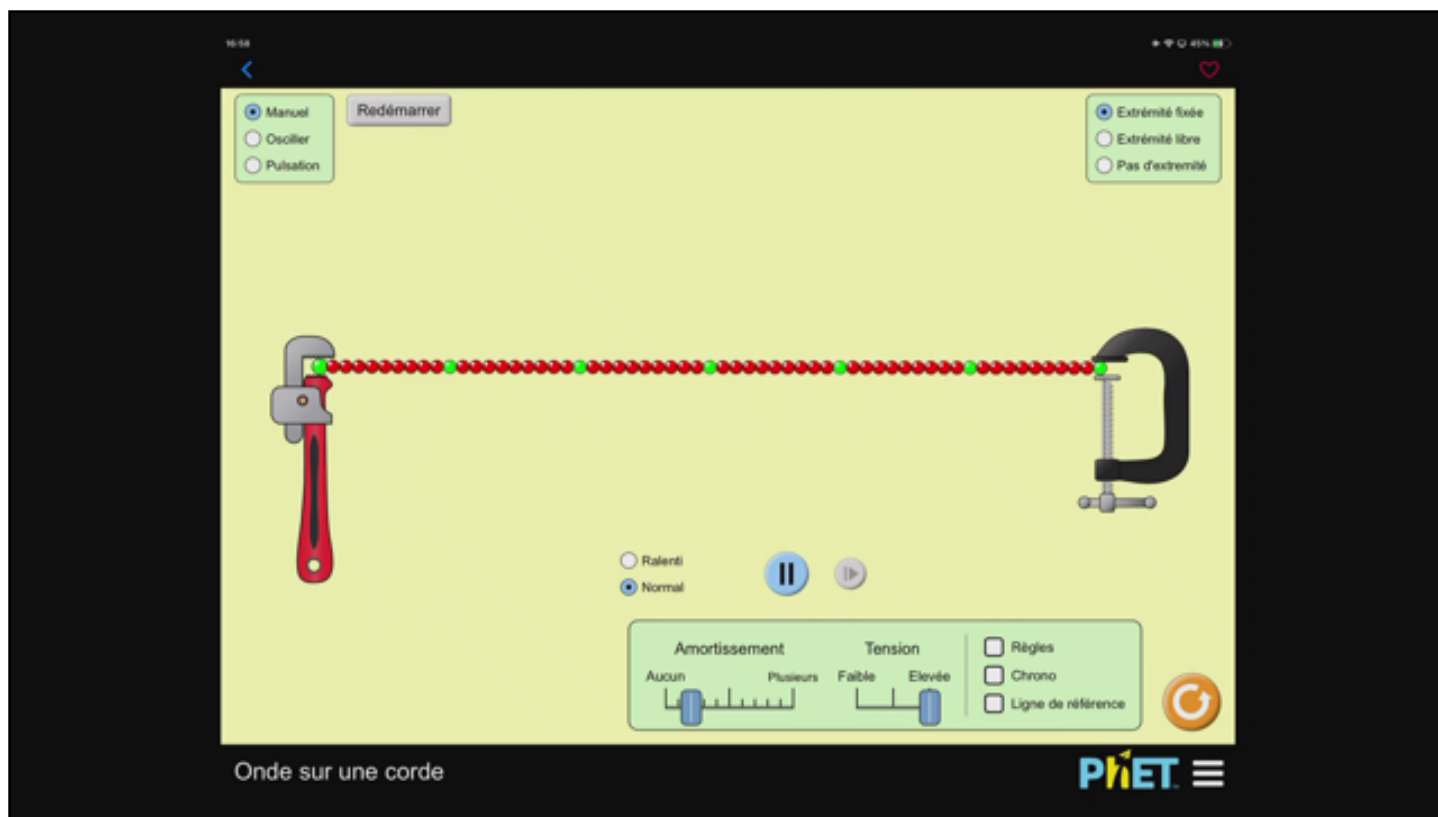
ça veut dire que, on devrait pouvoir, si la perturbation passait par là, on devrait pouvoir la décrire de la même manière. Il n'y a aucune raison que ce qu'on a pu décrire en M , on ne puisse pas l'écrire en M' . Donc, ça veut dire qu'on peut imaginer une fonction $Gm'2t$, puis ces deux fonctions, elles doivent quand même se ressembler, peut-être pour le même moment, mais si ils aiment vraiment la perturbation qui est passée d'un endroit à l'autre, etc. Et maintenant, j'introduis un nouveau type de fonction. Elle s'appelle $F2u$. Voilà, c'est une fonction, c'est des maths, on est en train de faire des maths. C'est une fonction qui dépend d'un paramètre, mais c'est un paramètre un peu particulier, parce que c'est un paramètre u qui, lui, dépend des autres paramètres. Donc, en fait, on a un u qui, lui-même, est une fonction linéaire de t et de x . Et puis, vous savez, x , y , z , on pourrait être en trois dimensions, je l'écris juste à une dimension pour que ce soit plus simple. Et puis, cette fonction u , elle est un peu particulière, parce que c'est une combinaison linéaire du temps et de la position. Voilà, on prend qu'à une seule dimension pour simplifier. Et puis, on veut rester homogène au niveau des unités. Donc, le v qui divise les x , ça doit être homogène à une vitesse, pour que vous avez... La résultat, on ne peut pas sommer des pommes, on vous dit ça depuis la primaire, on peut pas sommer des pommes et des carottes. Donc, ça doit être dans la même unité. Donc, l'unité qu'on a choisi pour u , c'est du temps. Donc, ça veut dire u , c'est le temps plus une position divisé par une vitesse qui donne aussi du temps. Si vous

notes

résumé

87m 4s

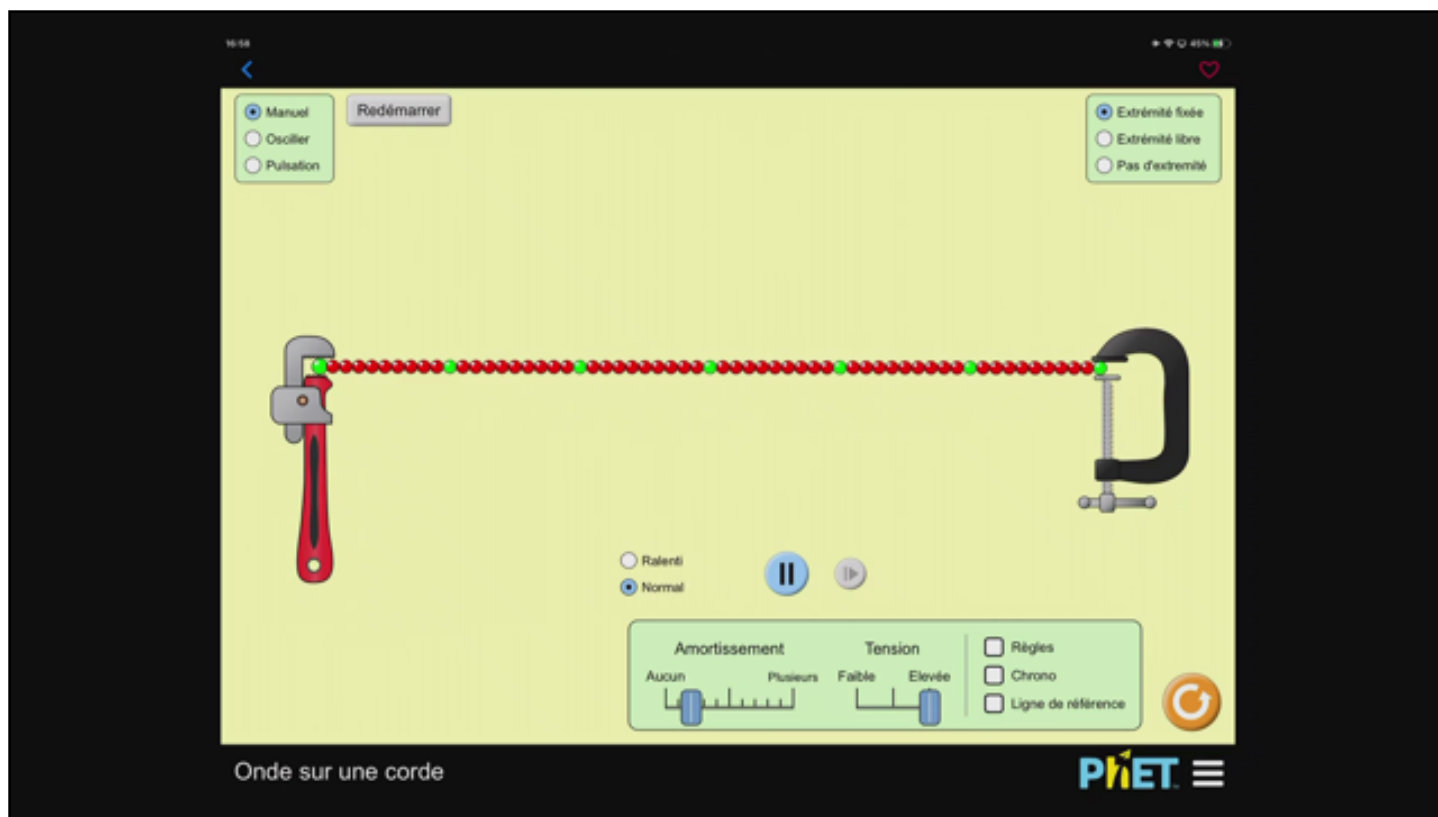




dites que Geneva est à 60 km et que vous avez une voiture qui roule à 60 km heure, il vous faut une heure pour y aller. Et puis, vous pouvez dire que Geneva est à 1 heure d'ici, alors que c'est une distance. Donc, maintenant, ce que je peux exprimer, c'est que ma fonction g qui m'intéressait de m , je peux l'écrire en fonction de la variable u qui dépend du temps et de la distance. Et donc, ça veut dire que je vais pouvoir écrire que ma fonction g de m , maintenant je lui ai rajouté un paramètre parce que je m'intéressais à savoir où elle était dans l'espace. Donc, j'ai x de t . Je peux la représenter comme une fonction qui dépend suivant comment la regarde. Dans seul paramètre que j'appelle u , mais ce paramètre est lui-même constitué de deux paramètres. Donc, je peux écrire que f de t plus ou moins x divisé par v . Et puis là, comme par magie, alors qu'on passe notre temps à vous dire qu'il n'y a pas de magie dans les maths, qu'il n'y a qu'à faire, et bien j'ai réussi à créer une fonction qui décrit une propagation. Le sens de ce slide, c'est juste ça, vous montez comment est-ce qu'on peut représenter mathématiquement la propagation d'une déformation dans l'espace. Parce que je peux écrire que ma fonction que j'avais au départ en t égale 0 et en x égale 0, ça va être la même que si je m'étais mis au temps t_1 et x_1 pour autant que x_1 ce soit un certain coefficient que la vitesse folle temps. Et puis, ce serait la même chose en t_2 , x_2 . Voilà. J'ai tout à fait conscience que ça vous laisse de marbre, mais en fait je voulais quand même

notes

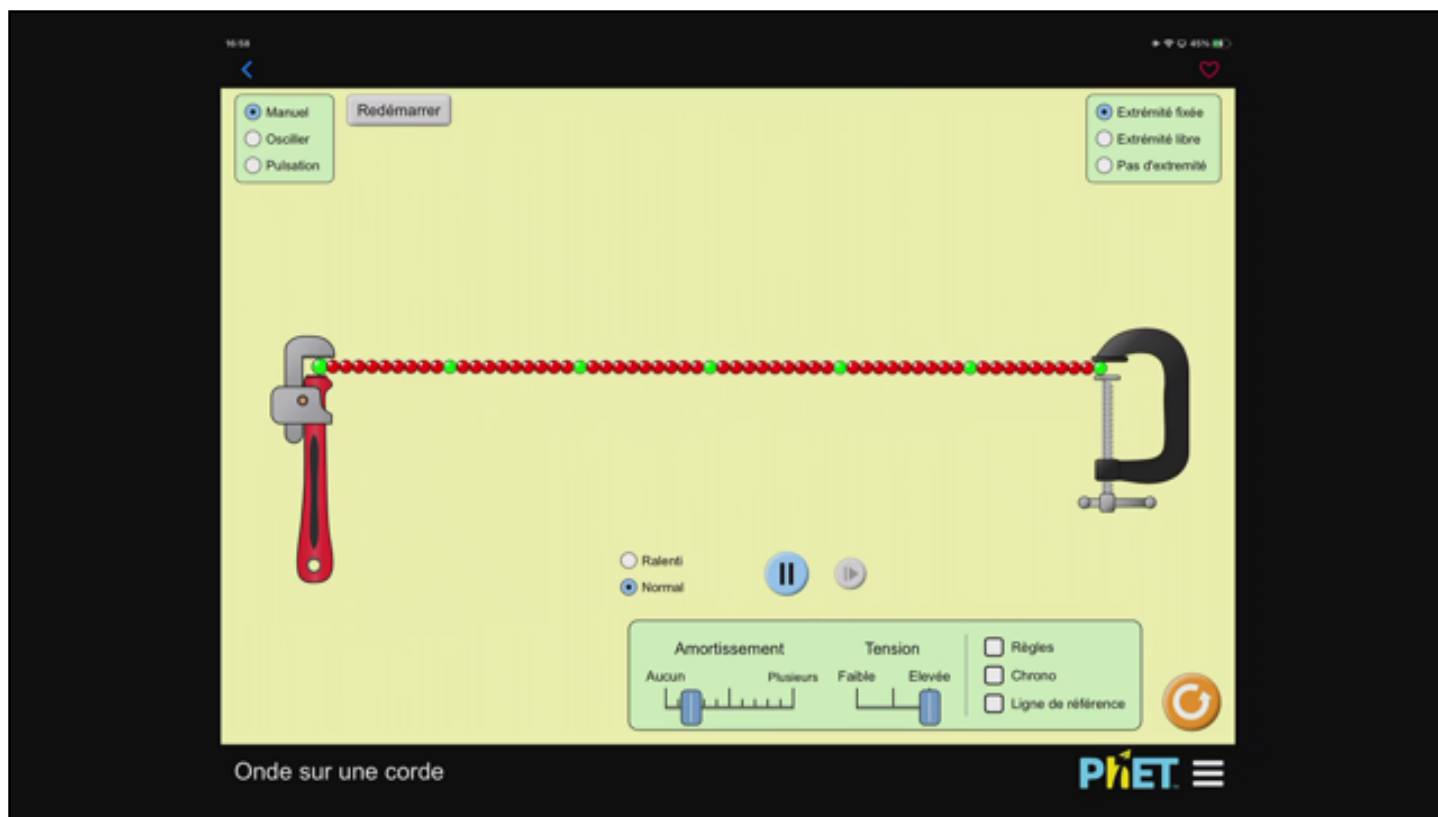
résumé



vous montrer cet élément là, qu'on a besoin d'une fonction pour pouvoir représenter une perturbation qui se déplace dans l'espace. Je vais avoir besoin de représenter les choses avec une conjugaison, une variable u qui doit mêler très très proche le t et le x . Autrement, c'est pas exactement une perturbation qui se demande dans l'espace. Et donc, ce que j'ai décrit en équation, c'est exactement ce qui est plus ou moins illustré sur ce dessin. Ça veut dire qu'à un temps 0, j'avais une perturbation et qu'à un temps plus loin ou avant, ça dépend dans quel sens on a fait bouger le temps, je vais avoir ma perturbation qui va se retrouver à une autre position, mais c'est la même perturbation. Et puis, à un moment plus loin, ça veut dire que j'ai une variation ici de distance et puis je vais avoir ici une variation de temps et que ça va provoquer, ça correspond à une vitesse de propagation de mon phénomène. Mon phénomène était en x égale x_0 en t égale 0, il était 3 mètres, 4 mètres, 5 mètres, 5 km plus loin après un certain temps, donc il a fallu, j'ai une vitesse de déplacement. Là, ce slide, j'aurais mieux fait de le mettre avant, c'est juste pour expliquer qu'on avait des choses, des zones qui étaient longitudinales ou des zones qui étaient transversales, puis là, c'est juste représenté avec un ressort, vous pourriez faire représenter votre ressort, simplement, il peut varier longitudinalement votre ressort, vous pourriez vous donner une secousse et puis il peut varier transversalement. Et la lumière est vraiment transversale, c'est important à se souvenir et le son est un exemple longitudinale. Là, je pense qu'on a déjà dit, donc voilà, je vais rentrer dans l'explication de ces différents événements, amortissement,

notes

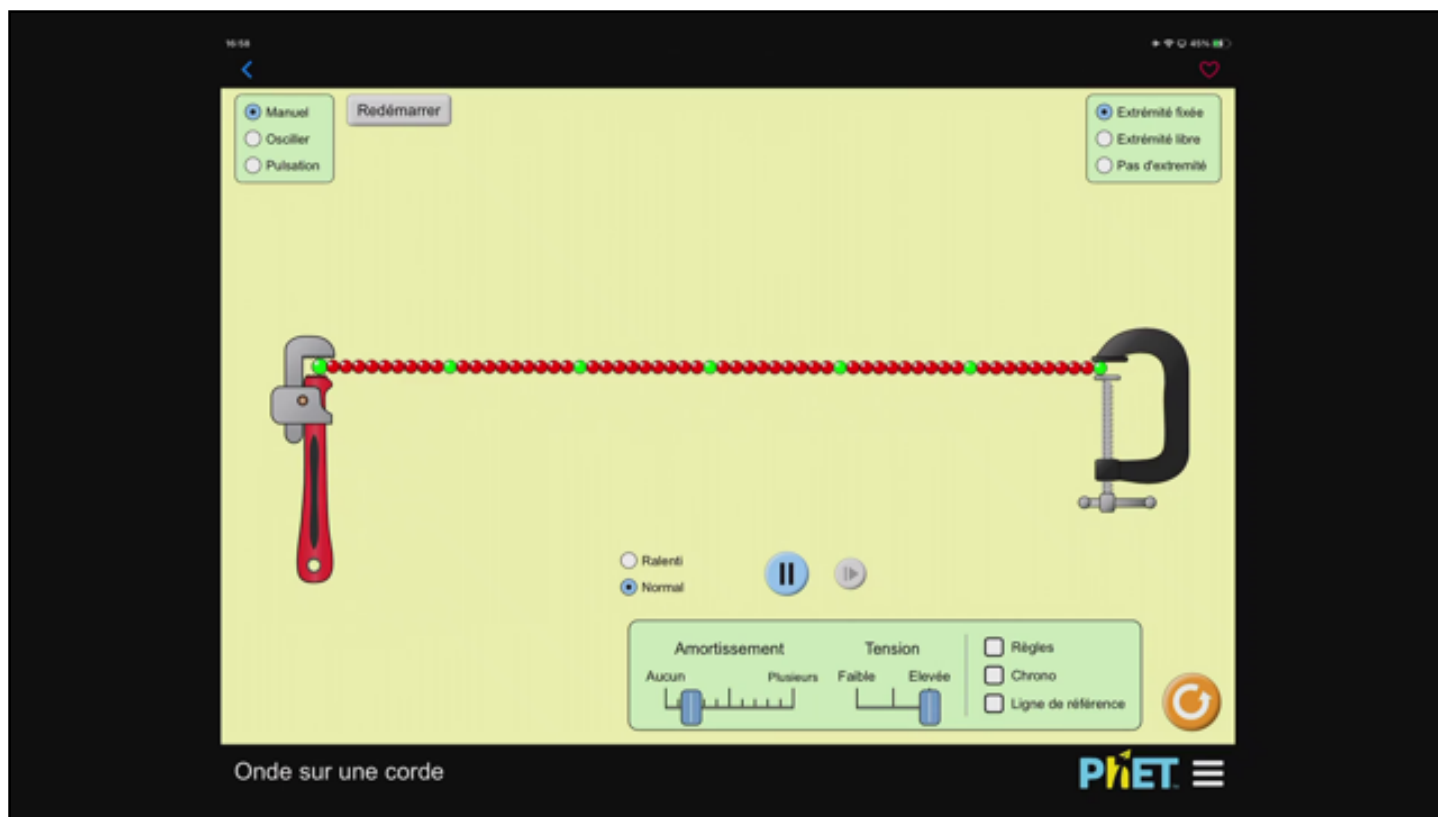
résumé



battement, diffraction, interférence, réfraction. Alors, comment est-ce qu'on représente un amortissement ? Je pense que vous avez compris ce qu'est un amortissement, c'est un phénomène qui, au cours du temps, au cours de l'espace, va diminuer en amplitude. Donc là, c'est typiquement un amortissement au cours du temps, mais vous pouvez avoir un amortissement dans l'espace si vous avez, comme je vous ai dit, si vous poussez en cri, il ne va pas s'entendre jusqu'à Sion, quand j'y arriverai ce soir, il se sera amorti bien avant. Alors il faudrait vraiment crier très très très très fort. Donc on a au départ un phénomène régulier représenté par une sinusoid, dans ce cas là, la variable qui nous intéresse, enfin qui nous intéresse, qui nous intéresse toute, mais celle qu'on a représenté, c'est le temps, mais on pourrait faire en fait le même raisonnement avec l'espace. Et puis, s'il n'y a pas d'amortissement, j'ai une intensité initiale, que j'ai appelée U_0 , et puis j'ai par exemple, c'est une onde en cocinus, donc elle a commencé au maximum, elle a commencé ici, et puis elle a une certaine pulsation, ω , et là si vous la regardez cet onde là, il faut en une seconde, et elle aura fait deux périodes, donc on a une période qui environ d'une demi seconde, donc on a une pulsation qui est de l'ordre de, donc là on peut dire la fréquence, on a une fréquence qui est de l'ordre de 2 Hz. Mais si j'ai pas d'amortissement, elle va rester tout le temps avec la même intensité. Maintenant, on pourrait regarder ce qui se passe, on pourrait regarder en combien de temps mon onde va s'amortir. Ici, vous pourriez regarder aussi par rapport à la distance, après combien de distances mon onde, elle est plus du

notes

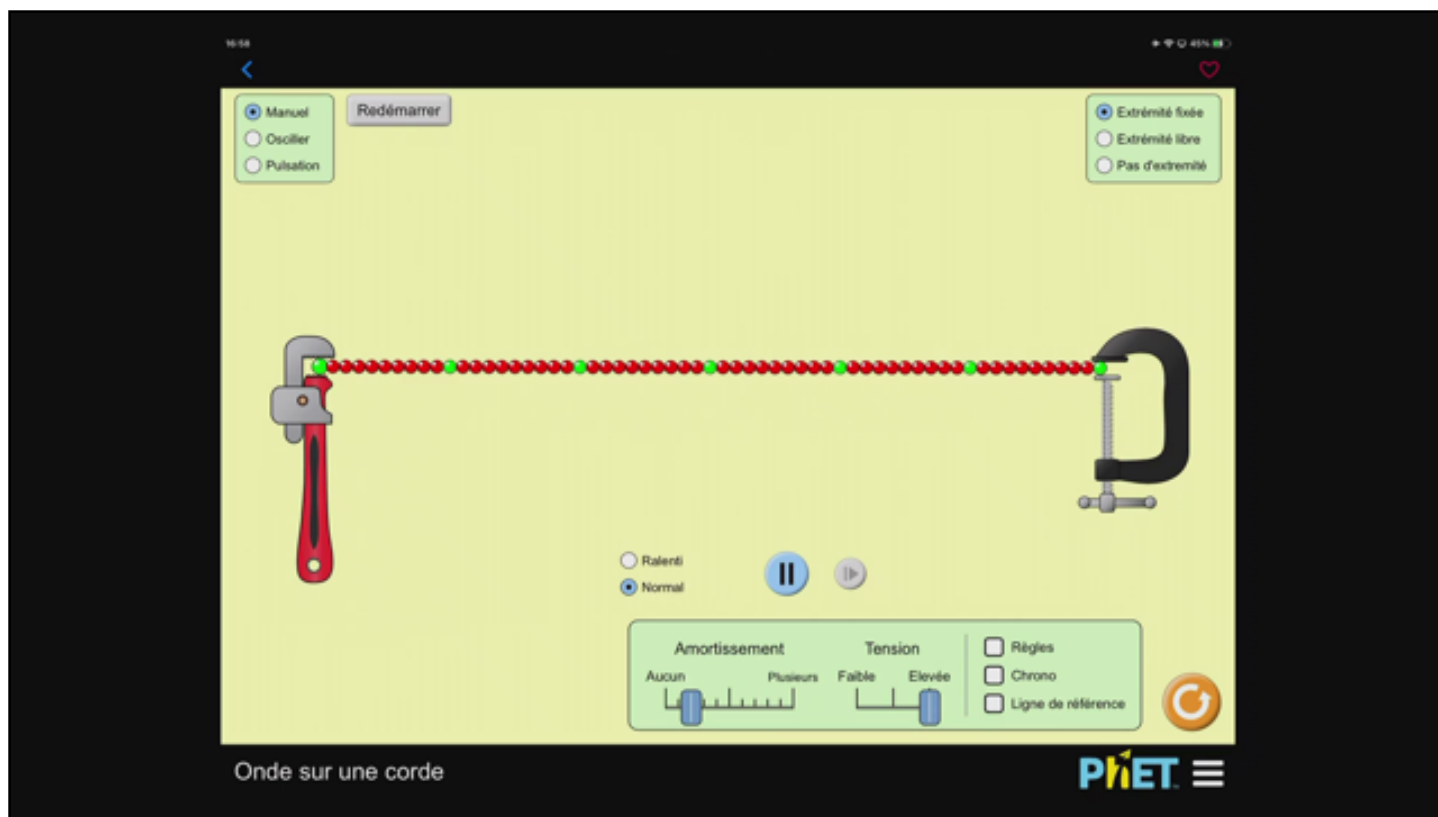
résumé



tout capable, elle est devenue plate, elle a totalement disparu parce qu'il y a eu de l'amortissement dans l'eau, et mon onde va pas non plus durer jusqu'à l'autre côté du lac. Si vous jetez un caillou à vide, je pense pas que quelqu'un va pouvoir voir le résultat du choc de votre caillou en étant à l'avion. Donc on va regarder quel temps il faudra pour avoir un amortissement. Donc quand on a un amortissement exponentiel, on n'en aura jamais à zéro, il restera toujours un petit quelque chose, donc en général, on regarde combien il a fallu de temps pour amortir notre onde d'un facteur 1 sur E, et le nombre de virgule est quel que le nombre n'est pas rien. Et puis ça veut dire que si vous arrivez à calculer ça, que ça se passe bien régulièrement, votre onde est gentille, elle répond bien au modèle, et ça veut dire que vous arrivez à représenter votre amortissement comme une fonction exponentielle avec un exposant qui est négatif, parce que ça diminue, là, elle va dépendre du temps, autrement il faudrait la faire dépendre de l'espace si on regardait les choses sur l'espace. Et puis je vais regarder que c'est le nombre de périodes que j'ai eu besoin pour la faire diminuer de cette fraction qui m'intéressait, et je multiplie ça par la période, et ça va me donner l'amortissement. Et si vous faites ça, vous obtenez un signal amorti, donc vous aurez une oscillation qui va diminuer d'intensité, théoriquement, elle ne va jamais disparaître, la réalité elle va disparaître, le modèle théorique va continuer indéfiniment, et vous pouvez représenter cette onde amortie par une constante qui représente l'intensité initiale, la partie sinusoidale, là je l'ai écrit avec deux fois pi, fois la fréquence, vous pouvez

notes

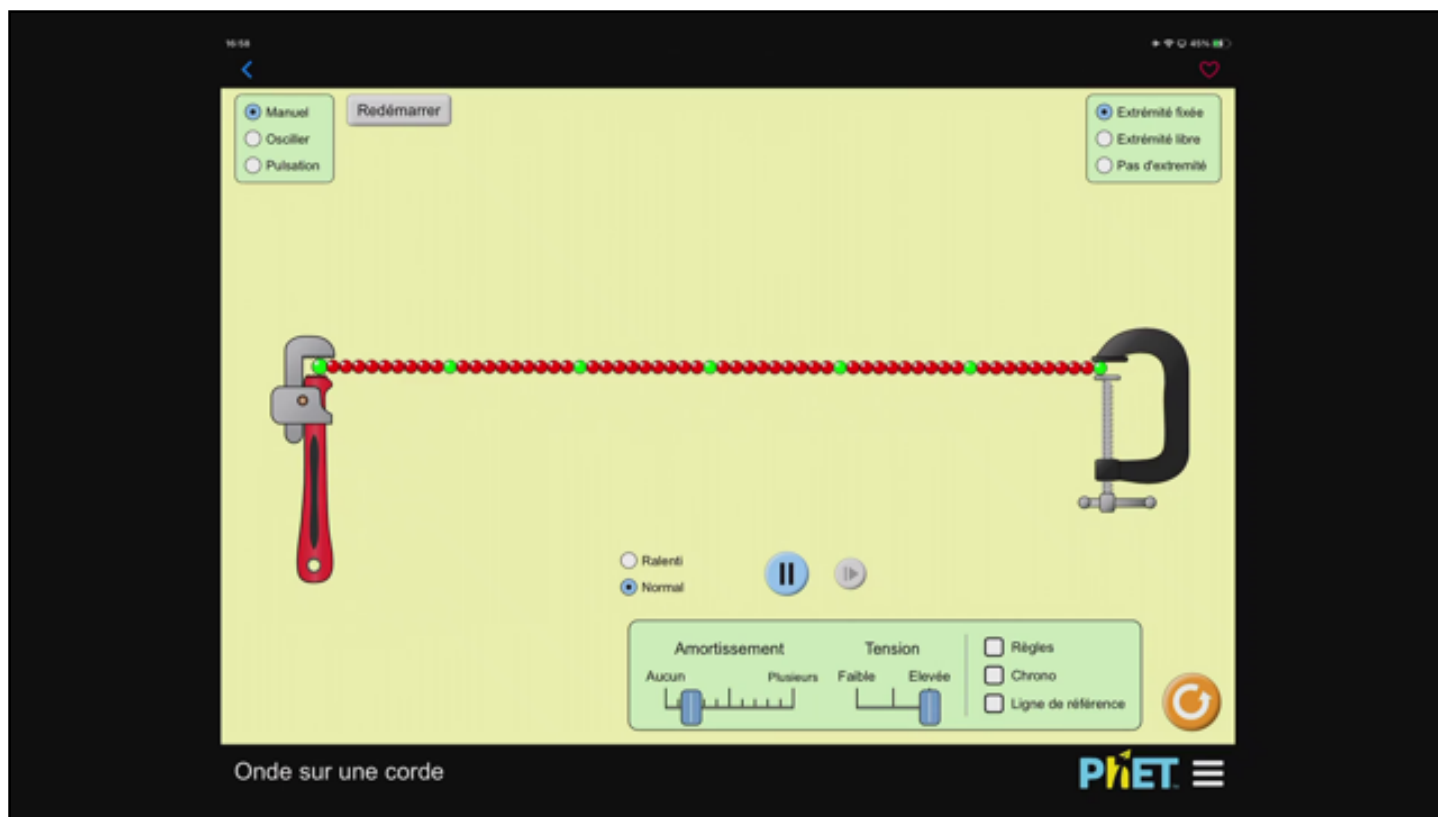
résumé



mettre ω si vous utilisez la pulsation, fois t , et puis une partie qui est amortie. Alors si on veut parler de l'amortissement, on peut distinguer différentes situations. Vous avez, le mot c'est, je vais vous prendre une autre couleur, donc c'est critique, et puis vous aurez sur critique, et vous aurez sous critique. Alors une onde qui est critique, ça veut dire qu'elle va, elle va s'amortir très rapidement. Vous n'arrivez même pas à voir l'oscillation, l'oscillation n'a même pas le temps de s'installer qu'elle va s'amortir. C'est ce qu'on aimerait faire sur une porte. Donc cette porte est là, un ressort, et puis pour qu'elle ne détruise pas la porte suivante, on a réglé le ressort que, approximativement, en fait même si elle n'était pas l'autre bâton, elle s'arrêterait quand elle était arrivée à sa position fermée. Parce que si c'était pas le cas, alors elle tapait, tapait, puis d'un moment le bâton s'abîmerait. Donc quand on fait une porte avec un ressort, on cherche à avoir l'amortissement critique. Alors, sur critique, c'est quand elle est tellement amortie, elle va jamais passer de l'autre côté, mais elle va mettre, permettez-moi ce terme, essaie de vous faire rigoler, elle va mettre des plombes à se fermer. Donc ce serait la porte qui, elle met une heure, je la laisse ouverte, elle va se fermer pendant la période de cours, mais je ne sais pas, il faut la moitié du cours pour qu'elle se soit fermée. Ça c'est sur critique, elle est très freinée, elle est amortie. Donc vous ne voyez pas non plus les oscillations. Et puis, en amortissement sous critique, vous allez voir un peu des oscillations, puis petit à petit ça va diminuer. Donc ce que je vous ai montré dans la slide précédente, c'était une situation

notes

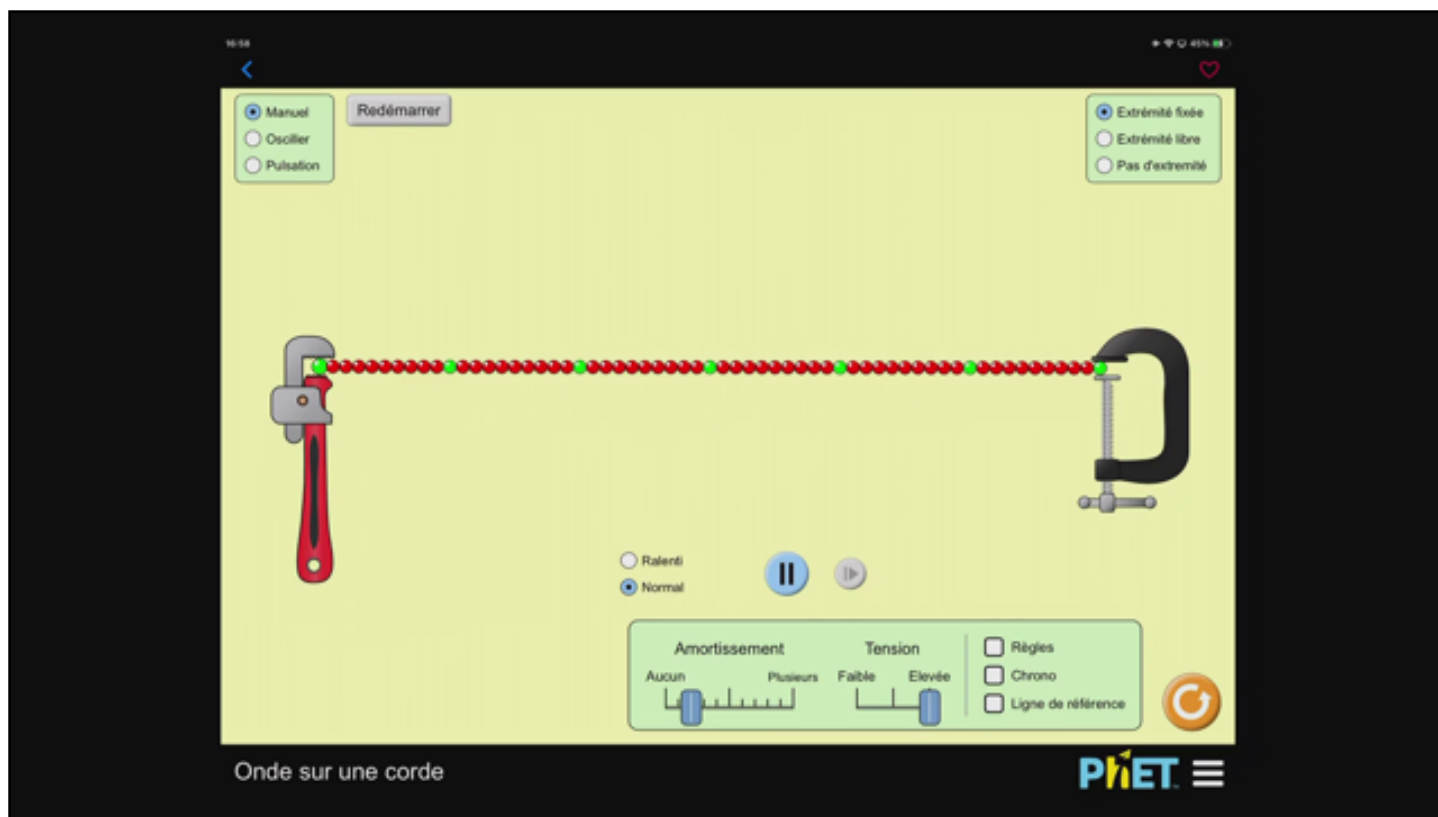
résumé



sous critique. Et ça, ça va se créer avec ce critère. Maintenant, vous voyez que si Q, vous en, donc en une période, vous l'amortissez, vous n'arrivez pas à avoir le temps, vous n'avez même pas le temps de voir aussi votre système. Donc là, ce que, à mon avis, est important pour vous, de vous souvenir, de mémoriser. Je dirais, ben voilà, c'est comment est-ce qu'on représente une onde amortie. Ça, je pense que ça, c'est important. Et de comprendre qu'elle est faite de deux parties, une partie sinusoidale et une partie exponentielle. Voilà, les choses à garder de ce système. Le battement, autre phénomène qui se passe quand on a deux ondes qui vont s'additionner, qui sont d'intensité équivalente, mais qui n'ont pas exactement la même fréquence. Donc, je ne suis pas très agréable pour les oreilles. Voilà, ça c'est une des ondes. Et ça c'est l'autre. Et ça c'est les deux ensemble. Donc, vous pouvez voir sur, mais il faut peut-être que je mette le... Donc sur le sioscope, on a fait l'addition des deux ondes. Donc, il y a une onde qui fait 860 Hz, il y en a une autre qui fait 1 kHz, c'est sans l'une, presque de l'autre. Donc, elles vont faire une oscillation, quand elles vont s'ajouter, elles vont faire une oscillation rapide qui représente ce côté, cette espèce de ressort que vous voyez qui augmente, qui a une fréquence de l'ordre de... de l'ordre, ce n'est pas de 900 Hz. Et puis, elle va être modulée par une autre fréquence qui est, elle, la différence des deux ondes. Il y a environ 150 Hz de différence. Donc, ça veut dire que là, j'ai une modulation qui est environ de 150 Hz. Et ça, c'est ce qu'on appelle justement un battement. C'est

notes

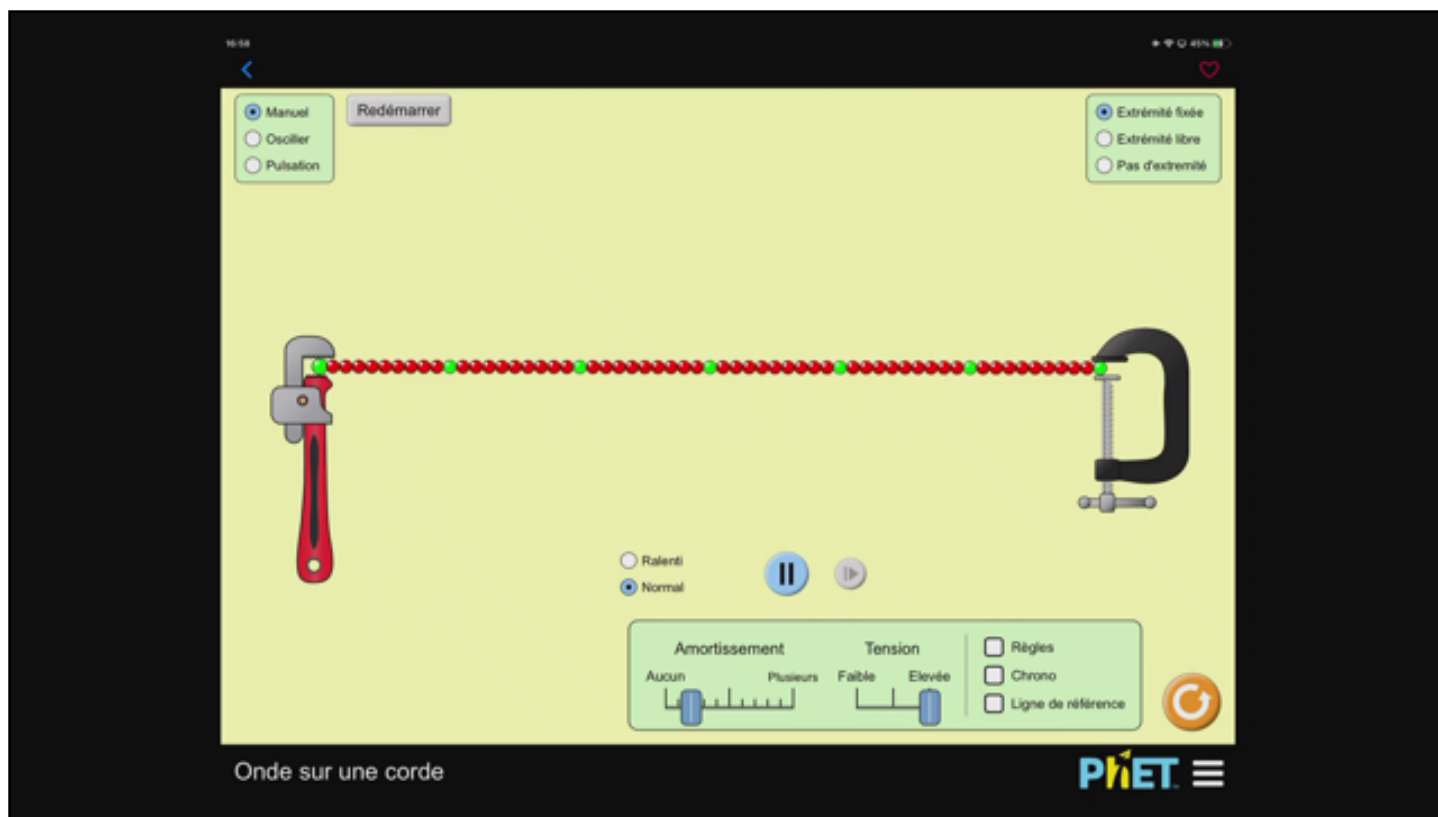
résumé



deux des ondes sinusoïdales, donc on ne parle pas de phase, dans ce cas-là, ce n'est pas un premier phase, on ne parle pas de phase, donc vous avez la première qui est égale, qui a une pulsation de ω moins un petit quelque chose, et puis la suivante, c'est ω plus un petit quelque chose. Et donc, le résultat, quand vous faites, c'est une fonction trigonométrique qui vous a été normalement enseignée au collège, quand vous faites l'addition de deux sinus, qui sont $\alpha + \beta$, $\alpha - \beta$ de la somme et de la différence de deux angles, et bien, en tout cas, c'est dans vos tables trigonométriques, si vous allez regarder ça soir, je crois que c'est les oranges, ou les bords d'eau, je ne sais pas quelle est la couleur de vos tables trigonométriques au gymnase, et bien, vous allez voir qu'on vous dit que ça va vouloir deux fois le produit de la moyenne plus le produit de moitié de la différence, du delta. Et donc, vous avez ici la somme du nom qui fait 1 Hz plus ou moins 0,05 Hz, donc ça veut dire qu'à la fin, vous allez avoir une oscillation rouge, si vous avez une oscillation qui est de l'ordre du Hz, et puis elle est modulée par une oscillation qui fait environ 20 Hz. Vous voyez que vous avez 10... non, à 20ème de Hz, pardon. Vous avez 10 secondes, donc vous avez une période de 20 secondes, donc vous avez une fréquence de 0,5 Hz dans la courbe bleue. Voilà ce qu'il y est d'un battement. Je vous ai montré les choses sur la corde, donc là, il y a juste des slides qui vous rappellent un petit peu, quand vous ossez s'y aller sur votre corde, votre perturbation,

notes

résumé



elle va suivre la corde, et puis quand elle arrive au bout, elle va revenir, mais elle vient dans un autre sens. Et puis là, je pense que je ne vais pas me lancer dans le calcul de l'équation d'ondes à 3 minutes avant la fin du cours, donc on va arrêter là. Mais juste donnez-moi quand même une minute pour vous montrer. Je vous encourage vraiment de chercher ces applications faites. Si je ne vous ai pas cité, P-H-E-T, vous avez... Vous avez les téléchargés sur votre ordinateur, sur votre truc... Je crois que vous en avez déjà parlé, non ? Mais allez-les regarder, vous en avez quelques-unes. En tout cas, vous en avez une qui vous parle des interférences et des ondes. Vous allez vous amuser. Il y en a une autre qui parle de ce qui se passe sur une corde. Attendez, je vous la montre. C'est très sympa pour aller regarder ce que vous avez. Voilà, celle-ci aussi. Ondes sur une corde, donc vous pouvez aller tester vos compréhensions parce que vous pouvez provoquer quelque chose et vous verrez que ça dépend de l'attention, ça dépend d'un certain nombre de choses. Donc si vous voulez comprendre les choses avec les mains, vous pouvez aller sur ces applettes, ça vous aidera à comprendre. Voilà, je vous souhaite une bonne soirée. Merci de votre patience. J'ai compris que c'était un jour un peu lourd aujourd'hui. Donc reposez-vous bien et puis on se retrouve vendredi. Sous-titres réalisés par la communauté d'Amara.org

notes

résumé

