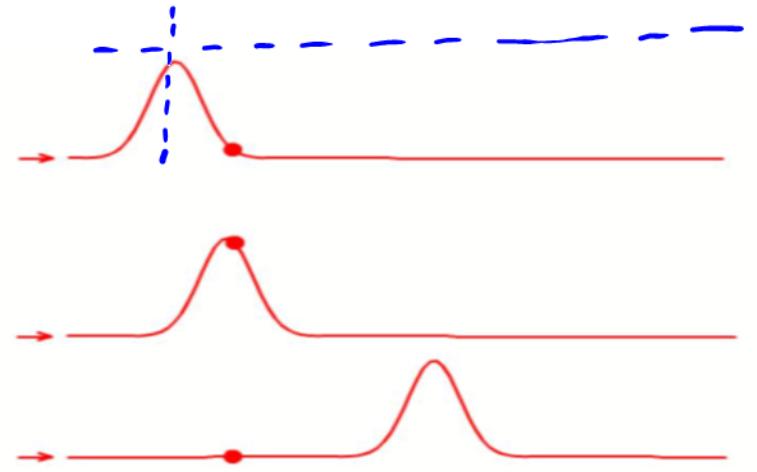


Les Ondes mécaniques progressives

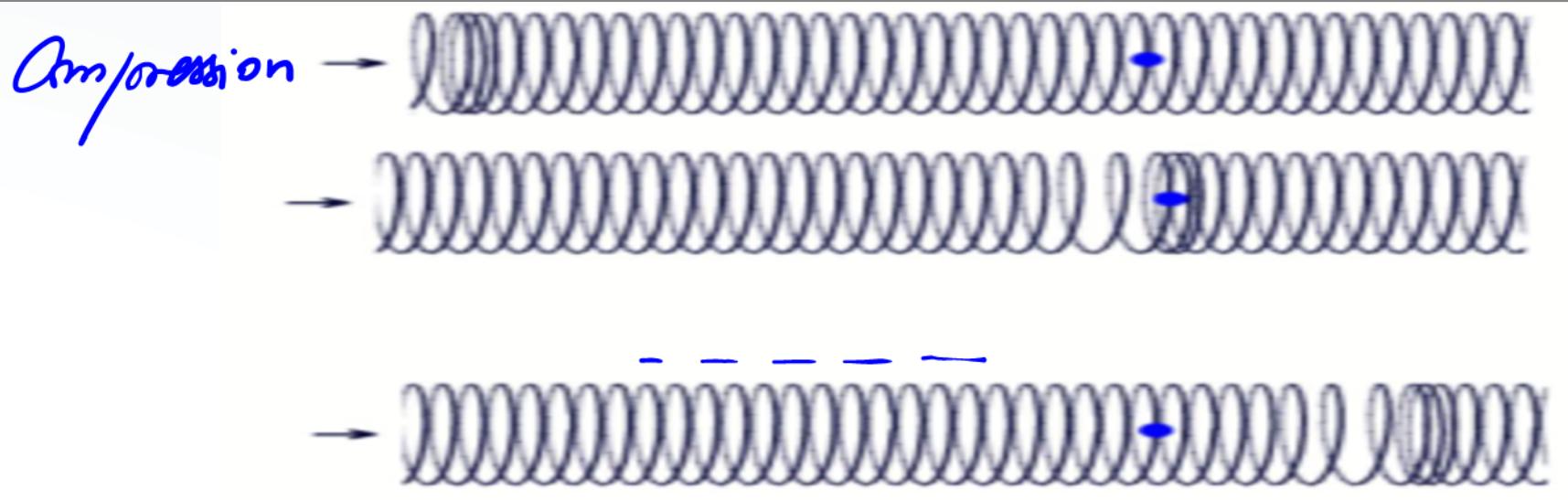
I - Propagation d'un ébranlement:

1. Définition: Un ébranlement est une déformation de courte durée imposée localement à un milieu élastique.
2. Milieu élastique: C'est un milieu qui reprend de lui-même sa forme initiale lorsque la déformation cesse.
3. Types d'ébranlements:

a. Ébranlement transversal: lorsque le déplacement des points du milieu de propagation (la déformation) s'effectue dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation.



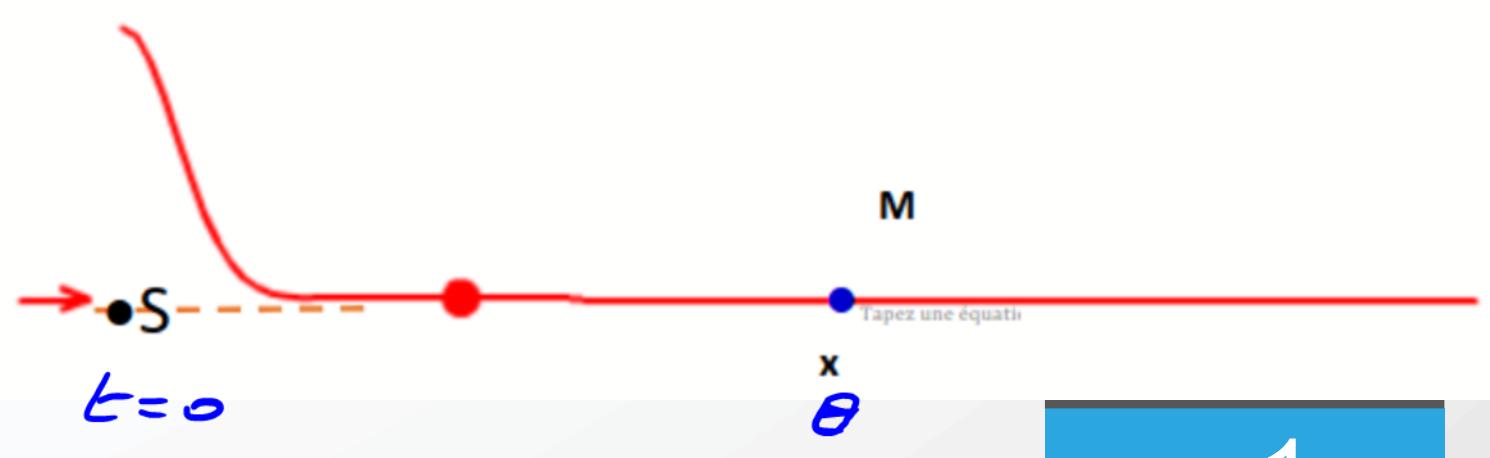
b. Ébranlement longitudinal: lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue dans la même direction que celle de la propagation



4. Principe de propagation d'un ébranlement:

- a. Aspect énergétique de la propagation:
La propagation d'un ébranlement est due à une transmission de l'énergie (et non pas de la matière) d'un point du milieu de propagation vers d'autres.
- b. Célérité de propagation:
La vitesse de propagation d'un ébranlement est appelée **célérité** du fait qu'elle correspond à un déplacement d'énergie. Elle est constante et elle dépend de la nature du milieu et de ses propriétés.

$$V = \frac{x}{\delta} \quad (\text{m.s}^{-1})$$



c. Elongation due à un étranglement:

Chaque point du milieu de propagation reproduit le même mouvement que la source mais avec un retard de temps δ . $\Rightarrow y_m(t) = y_s(t-\delta)$

II Propagation d'une Onde Sinusoidale:

1. Définition: On appelle onde (du latin unda) le phénomène résultant de la propagation d'une succession d'étranglement dans un milieu donné.

2. Onde mécanique: lorsque l'étranglement se produit dans un milieu matériel élastique l'onde est dite mécanique

3. Onde progressive: lorsque le milieu matériel est ouvert (illimité) l'onde est dite progressive. (On utilise du coton pour empêcher la réflexion et avoir une onde progressive)

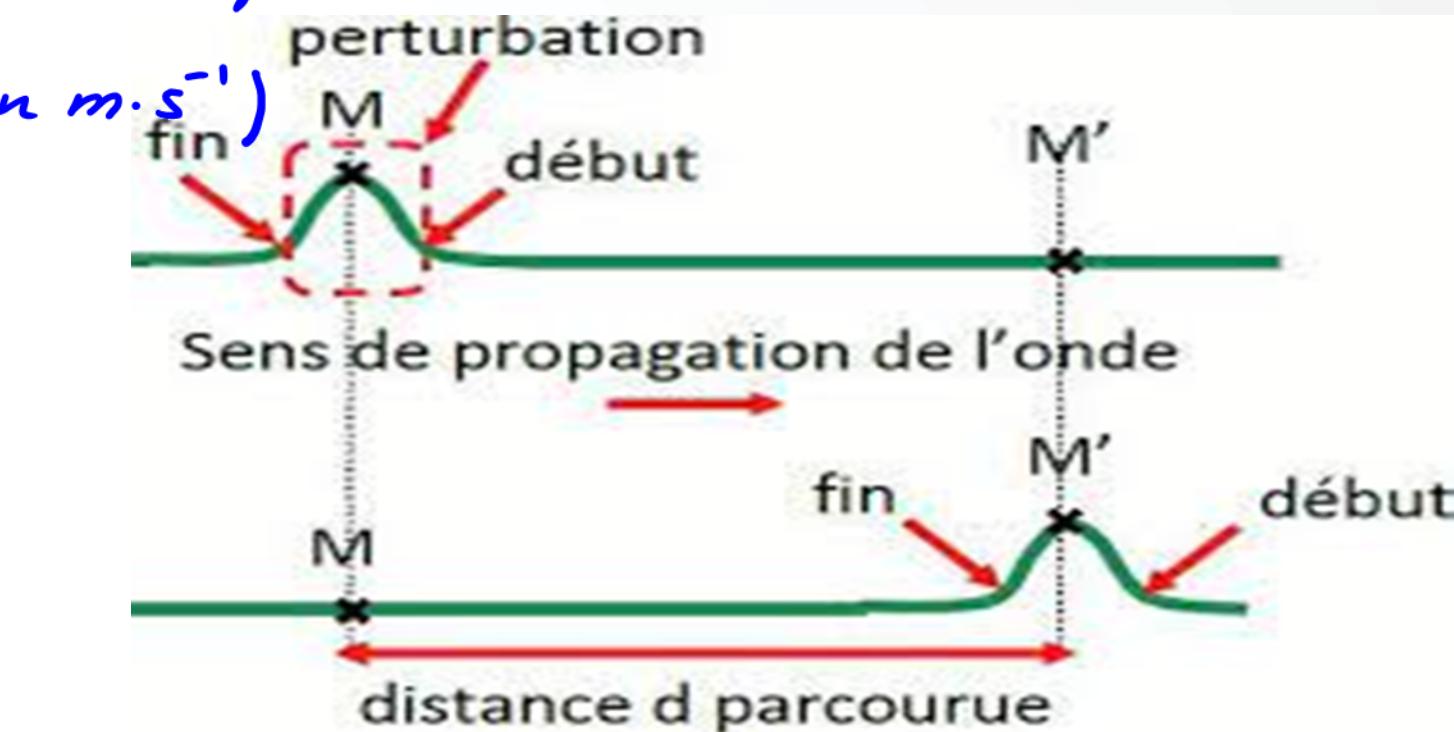
4. Onde transversale et onde longitudinale.

Le caractère transversal ou longitudinal d'une onde est fonction de celui des étranglements.

5. front d'onde: l'étranglement le plus avancé est appelé front d'onde

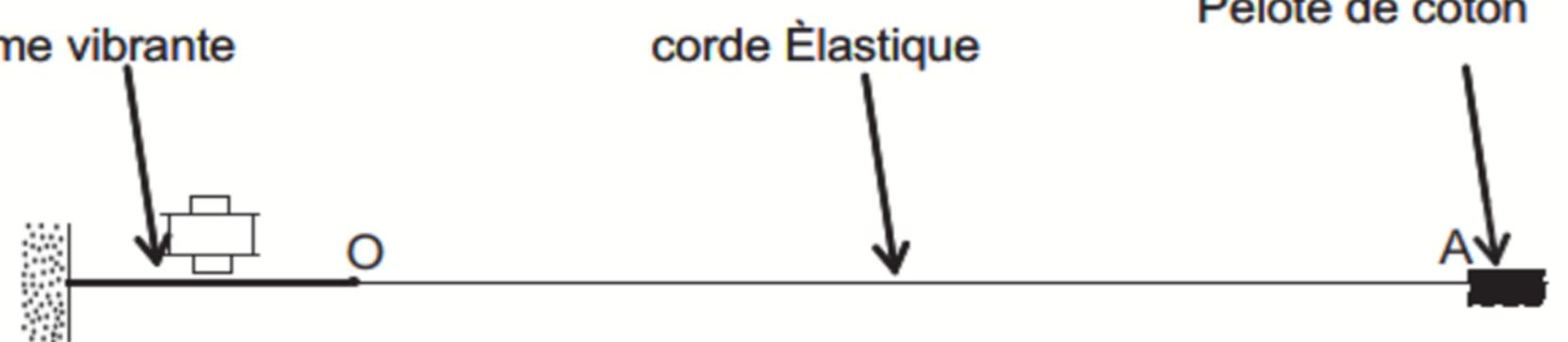
6. Célérité de propagation: c'est le rapport entre la distance parcourue par l'onde et la durée Δt du parcours

$$V = \frac{d}{\Delta t}$$



III Onde progressive le long d'une corde:

1. Dispositif:

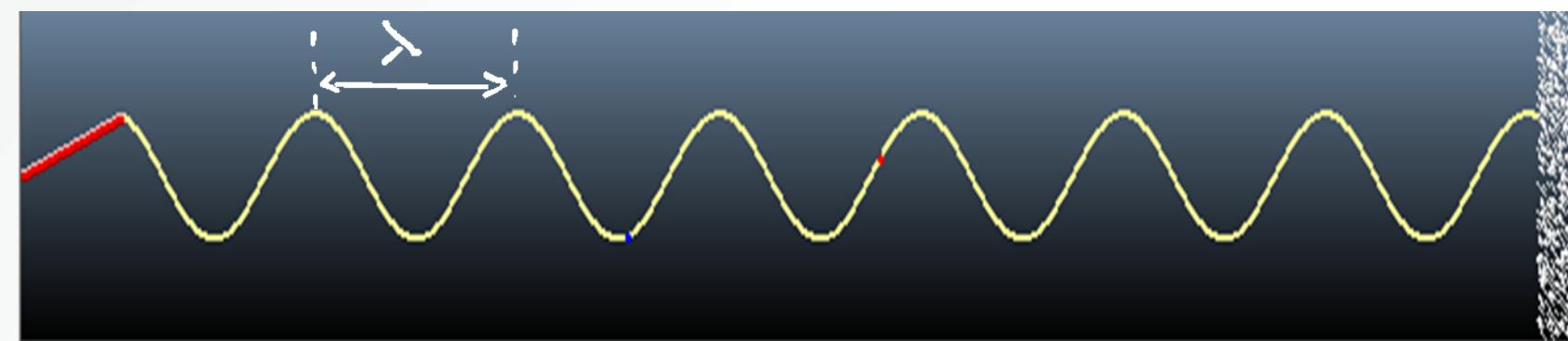


2. Observation:

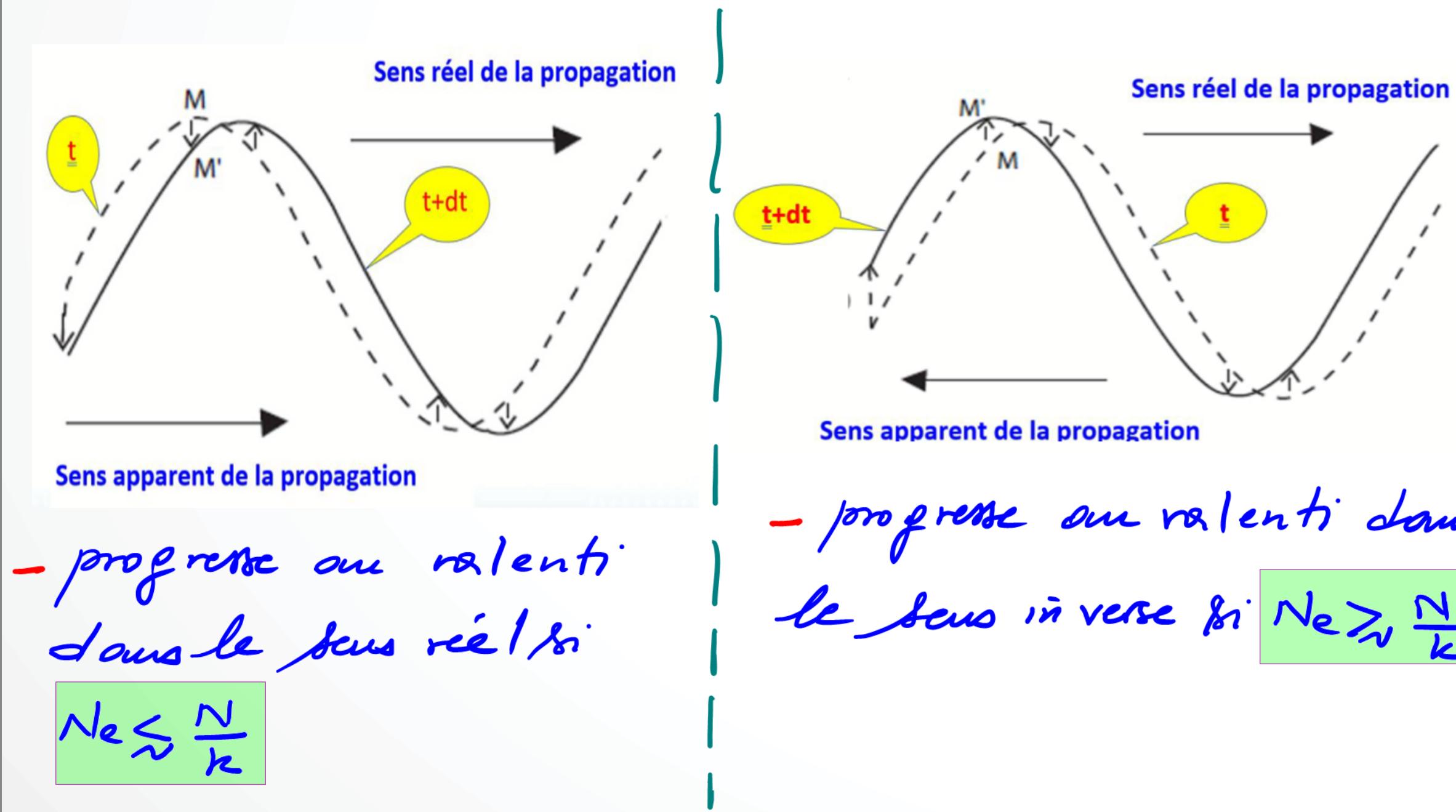
a. t la lumière ordinaire: la corde paraît sous forme d'une bande fluide de même largeur.

b. t la lumière stroboscopique : la corde paraît sous la forme d'une sinusoidale :

- fixe si $T_e = kT \Leftrightarrow Ne = \frac{N}{k}$; $k \in \mathbb{N}^*$.

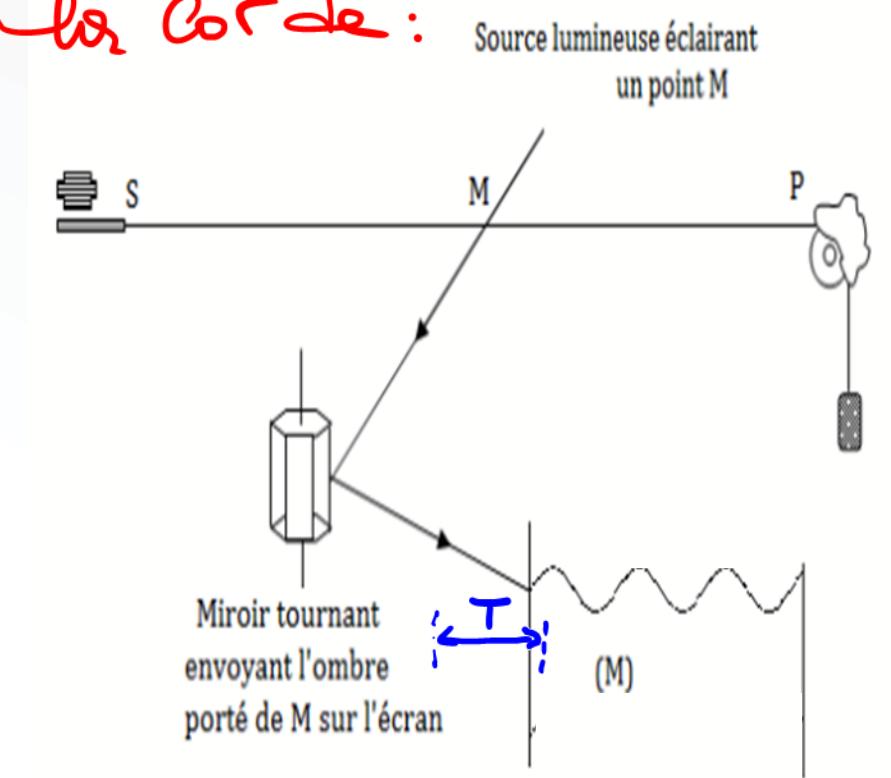


λ est appelée : longueur d'onde : période spatiale (m).



3. Mouvement d'un point de la corde :

L'analyse optique montre que chaque point de la corde effectue un mouvement rectiligne sinusoidal de période T : période temporelle.



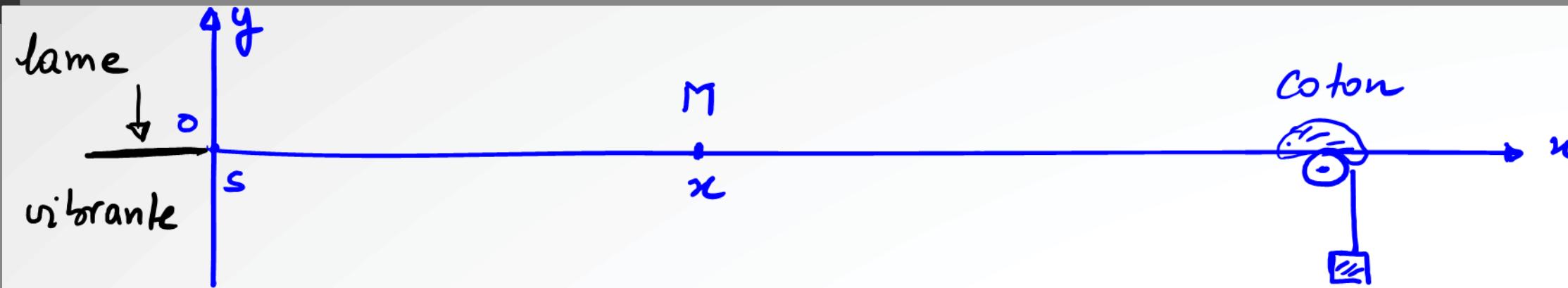
4. Conclusion : La propagation d'une onde est caractérisée par deux périodicités à la fois :

- Une périodicité temporelle : la période de T est celle de la source. $T(\text{ens})$
- Une périodicité spatiale : la période λ : longueur d'onde

5. Définition de la longueur d'onde : c'est la distance parcourue par l'onde pendant une période temporelle T de vibration de la source $\lambda = TV$ (en m).

6. Etude théorique : On néglige l'amortissement et la réflexion de l'onde.

a. Équation horaire du mouvement d'un pt M de la corde



- la source effectue un mouvement rectiligne sinusoidal

$$y_s(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_s\right)$$

- L'onde met un temps $\delta = \frac{x}{v}$ pour atteindre le point M.

d'après le principe de propagation: $y_M(t) = y_s(t - \delta)$

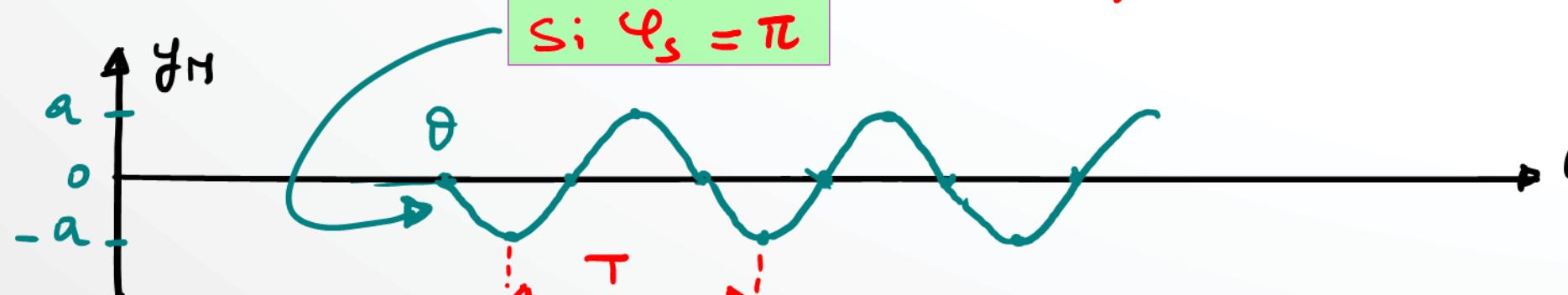
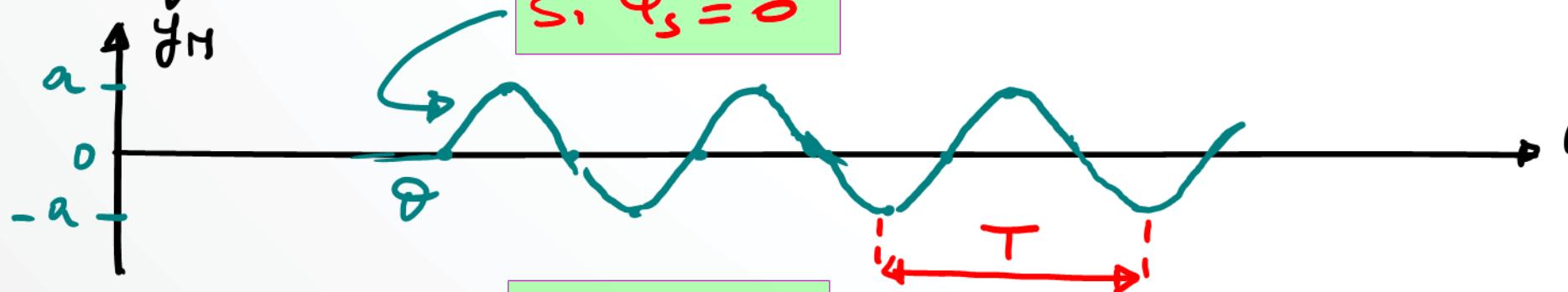
$$y_M(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - \delta) + \varphi_s\right) \text{ si } t \geq \delta$$

$$= a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v} + \varphi_s\right) \quad "$$

$$\begin{cases} y_M(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v} + \varphi_s\right) & \text{si } t \geq \delta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < \delta. \end{cases}$$

⚠ $\varphi_M = \varphi_s - \frac{2\pi x}{\lambda}$

b. Diagramme du mouvement du point M: sinusoidale de temps



c. Aspect de la corde à un instant donné t_1 :

sinusoïde des espaces.

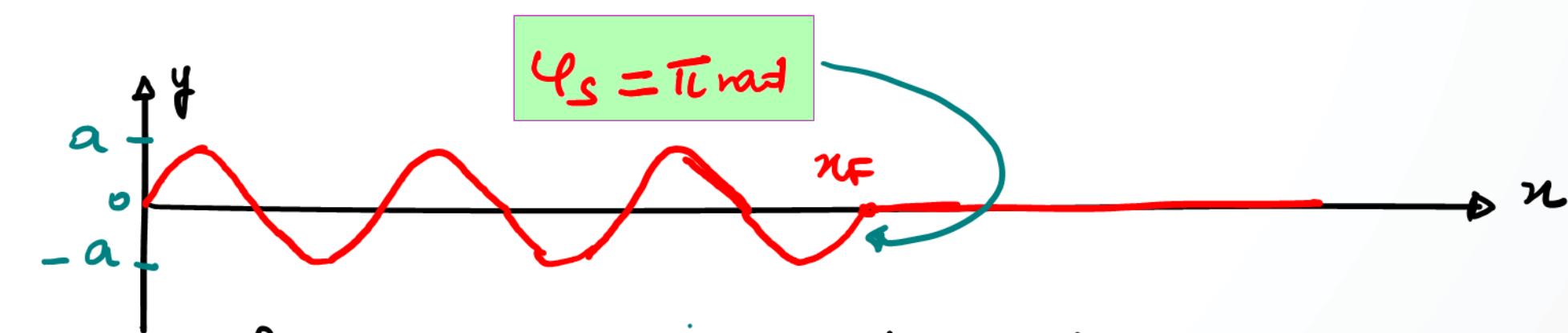
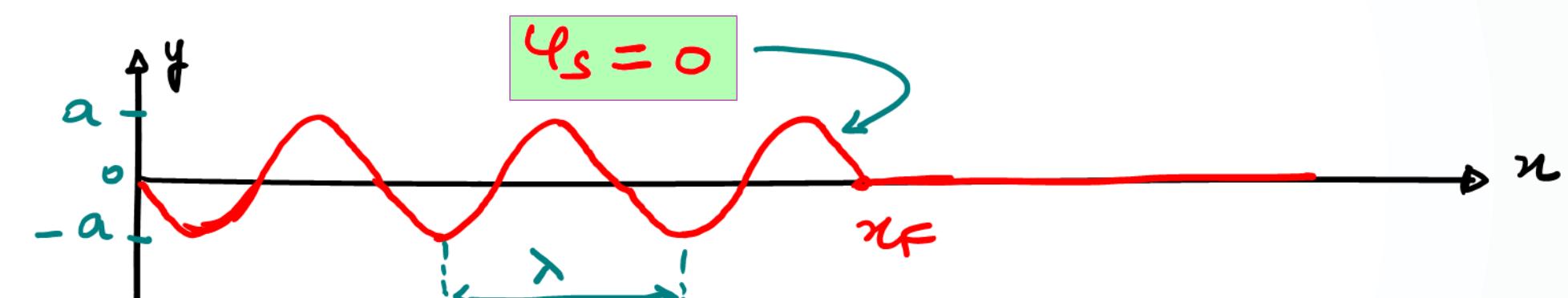
- On cherche la position du front d'onde

$$x_F = v t_1$$

- L'aspect de la corde est donné par:

$$y_{t_1}(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t_1 + \varphi_s - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \text{ si } 0 \leq x \leq x_F$$

$$y_{t_1}(x) = 0 \text{ si } x > x_F$$



d. Déphasage par rapport à la source:

* Points de la corde vibrant en phase avec S

$$\varphi_M - \varphi_s = -2k\pi \Leftrightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} = -2k\pi \Leftrightarrow x = k\lambda \quad k \in \mathbb{N}^*$$

* Points de la corde vibrant en opposition de phase avec S

$$\varphi_M - \varphi_s = \pi - 2k\pi \Leftrightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} = \pi - 2k\pi \Leftrightarrow x = (k - \frac{1}{2})\lambda \quad k \in \mathbb{N}^*$$

* Points de la Corde vibrant en quadrature avance de phase par rapport à s : $\varphi_m - \varphi_s = +\frac{\pi}{2} - 2k\pi$

$$-\frac{2\pi n}{\lambda} = \frac{\pi}{2} - 2k\pi \Leftrightarrow x = (k - \frac{1}{4})\lambda \quad k \in \mathbb{N}^*$$

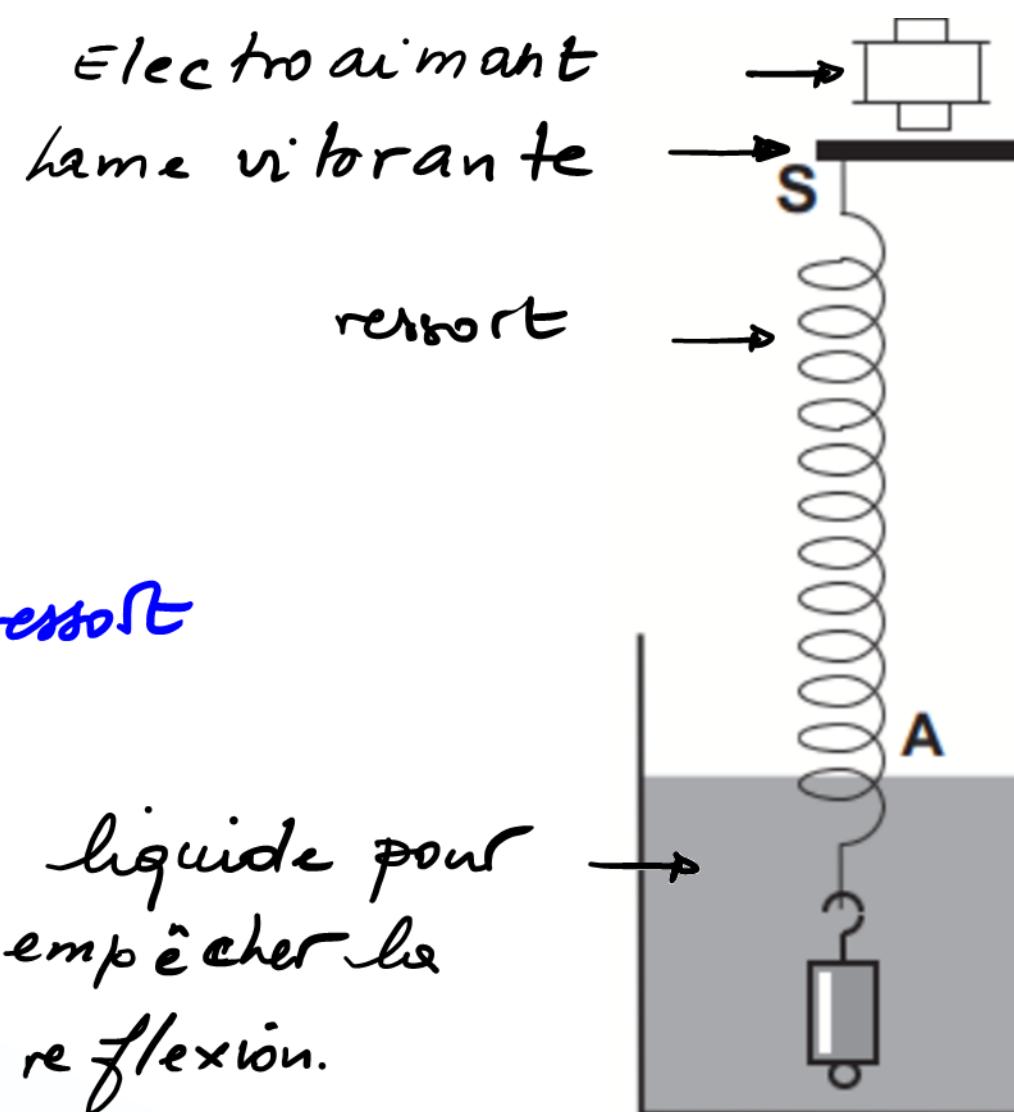
* Points de la Corde vibrant en quadrature retard de phase par rapport à s : $\varphi_m - \varphi_s = -\frac{\pi}{2} - 2k\pi$

$$-\frac{2\pi n}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} - 2k\pi \Leftrightarrow x = (k + \frac{1}{4})\lambda \quad k \in \mathbb{N}$$

IV Onde sinusoidale le long d'un ressort

1. Dispositif expérimental:

La lame vibrante impose à l'extrémité s des vibrations verticales sinusoidales.



2. Observation:

- A la lumière ordinaire le ressort paraît flou

- En éclairage stroboscopique le ressort paraît sous forme d'une succession

de zones de compression alternées pour d'autres déplacement de dilatation :

- fixes si $T_e = kT$

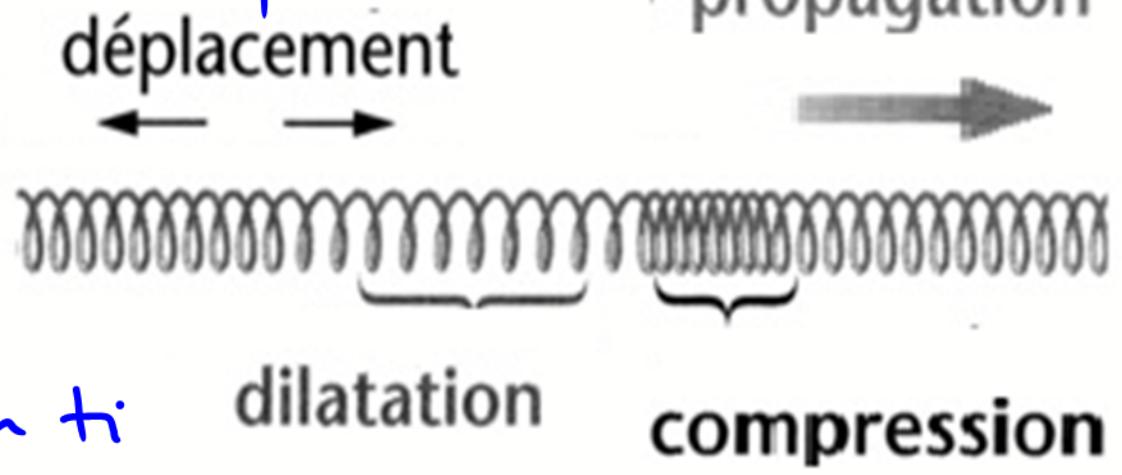
- Paraisseント progresser ou rester dans le sens réel (de s vers A) si $T_e > kT \Rightarrow N_e \leq \frac{N}{k}$

3. Interprétation :

- En lumière ordinaire, le ressort paraît flou car toutes les spires sont en train de vibrer avec la même période T (même fréquence). Les vibrations sont transmises de proche en proche de la source s vers A.

- L'éclairage stroboscopique montre que l'onde le long du ressort est longitudinale car les spires se déplacent dans une direction parallèle à celle de la propagation.

* L'immobilité apparente s'explique par : Entre deux éclairs successifs du stroboscope chaque spire effectue k oscillations et se retrouve donc dans la même position



IV Onde à la surface de l'eau:

1. Dispositif expérimental:

La pointe impose à la nappe d'eau, au points, des vibrations verticales et horizontales.

2. Observation:

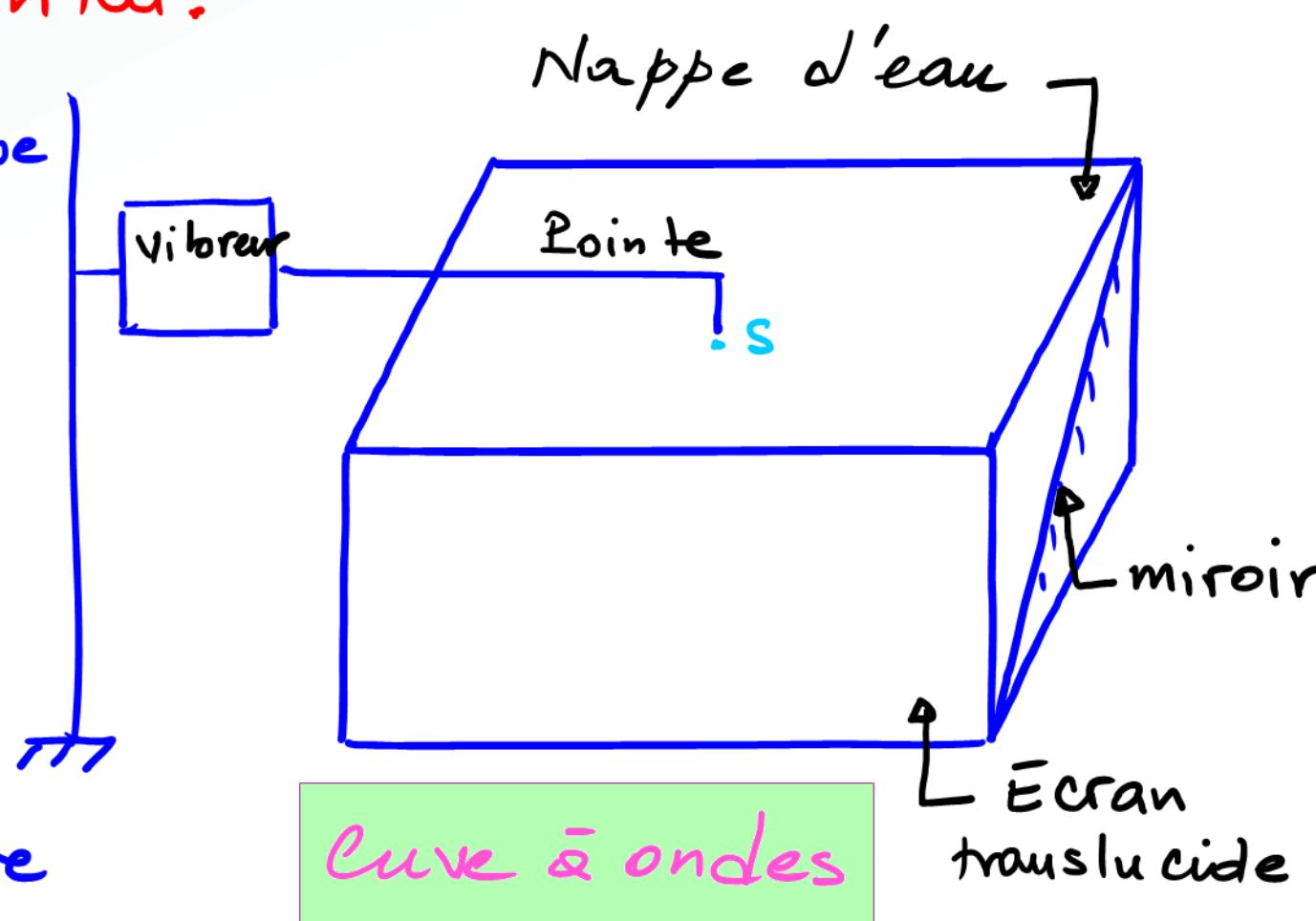
- à la lumière ordinaire

la surface de l'eau paraît sous la forme de ridges circulaires concentriques.

- En éclairage stroboscopique, la surface de l'eau paraît sous la forme de crêtes circulaires alternées par des creux de mêmes formes, concentriques : ce sont les ridges circulaires. Ces ridges sont :

* immobiles si $T_e = kT \Leftrightarrow N_e = \frac{N}{k}$; $k \in \mathbb{N}$.

* en mouvement ralenti de la source vers les bords de la cuve (sous réel) si $T_e > kT \Leftrightarrow N_e < \frac{N}{k}$; $k \in \mathbb{N}^*$.



- * Sur l'écran, on observe des cercles brillants alternés par d'autres sombres : ce sont les images des crêtes et des creux

3. Interprétation:

- Les ridges circulaires montrent que tous les points de la surface d'eau situés à une distance r de la source sont affectés par l'onde à la même date : ils vibrent en phase.

- Deux ridges consécutifs sont distants de λ

- le phénomène est plus net au voisinage de la source : plus on s'éloigne de la source, plus l'amplitude diminue, à cause de la dilution d'énergie : répartition de l'énergie sur un nombre de points de plus en plus grand en s'éloignant de la source.

- L'onde à la surface de l'eau est transversale.

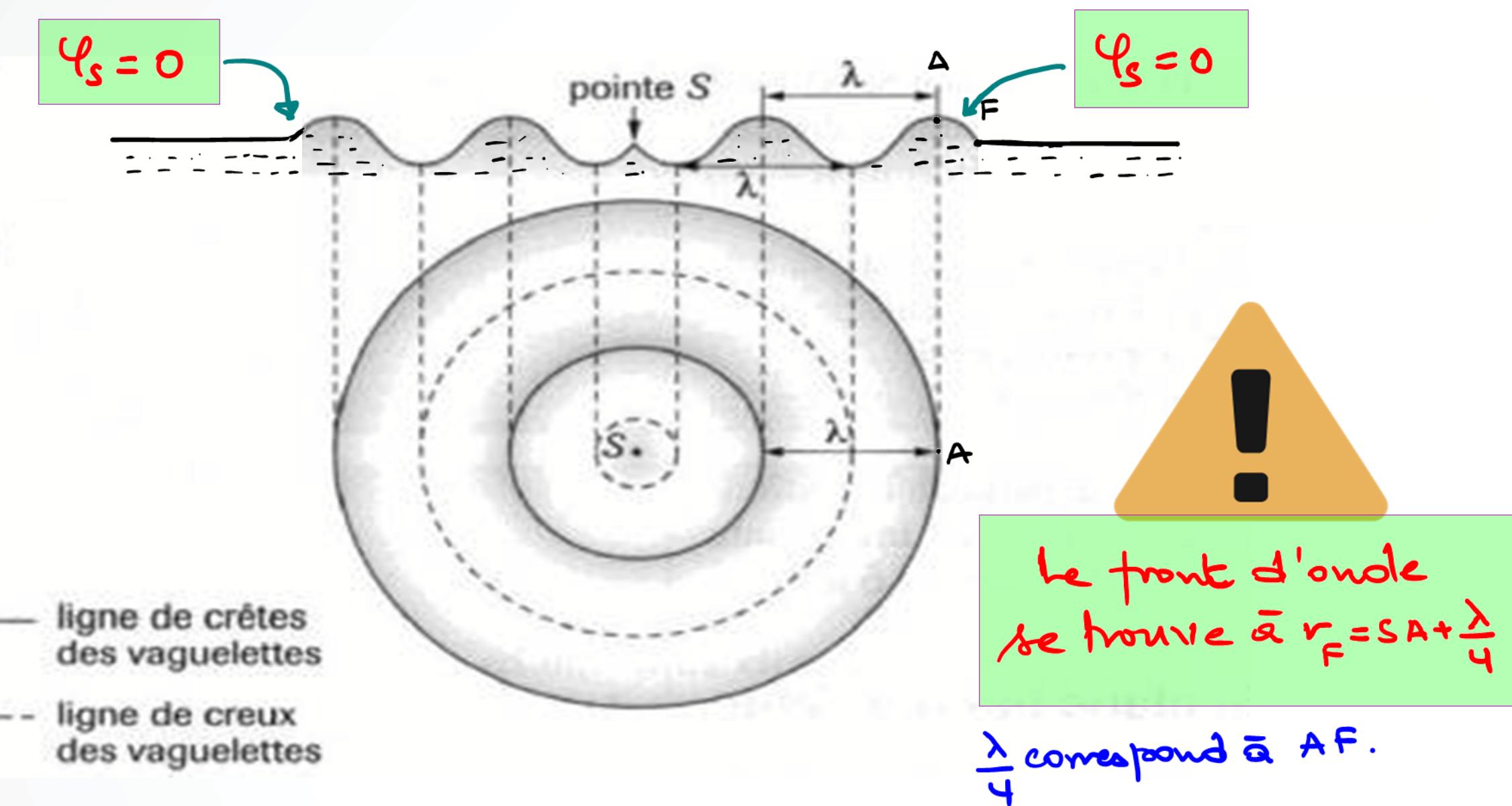
- Si on néglige la dilution de l'énergie, on peut écrire comme le long d'une corde que :



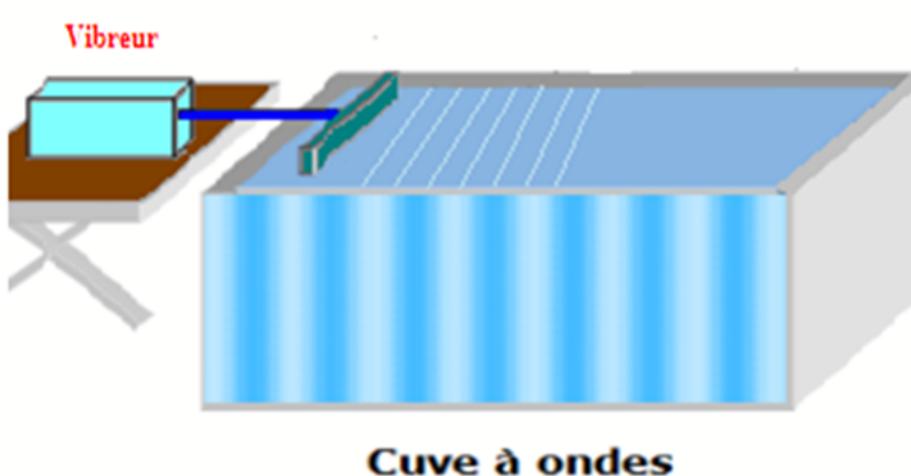
$$y_{FM}(t) = y_s(t - \delta) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_s - \frac{2\pi r}{\lambda}\right)$$

$$- \Delta \varphi = \varphi_m - \varphi_s = - \frac{2\pi r}{\lambda}$$

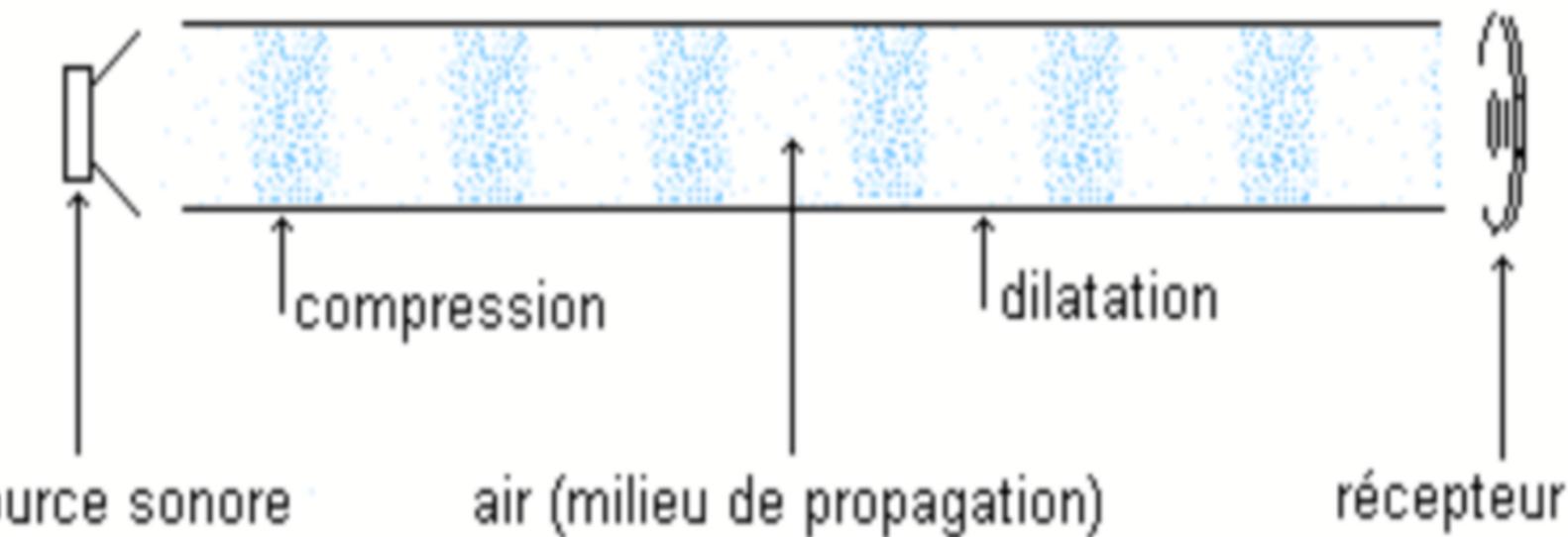
+ Aspect d'une coupe de la surface de l'eau:



+ Si on remplace la pointe par une règlette: les rides circulaires deviennent rectilignes



VI- Ondes Sonores:



le son est de nature vibratoire : c'est une onde mécanique appelée **onde sonore** et plus particulièrement **acoustique** lorsqu'elle est auditive. L'onde sonore émise par une source ponctuelle est une onde sphérique longitudinale qui s'atténue en s'éloignant de la source à cause de la dilution d'énergie.

NB: Il ne faut pas confondre la vitesse de propagation de l'onde qui est constante $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\nu F}{T} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$ et la vitesse d'un point M du milieu de propagation qui est variable. On connaît que $v_M = -v \frac{dy}{dn}$

Ainsi : - si $\frac{dy}{dx} > 0 \Rightarrow v_m < 0$

- si $\frac{dy}{dx} < 0 \Rightarrow v_m > 0$

