I- Rappel:

- ✓ On appelle onde le phénomène résultant de la propagation d'une succession d'ébranlements dans un milieu élastique donné.
- ✓ Une onde est dite transversale si la direction de propagation est perpendiculaire à la direction de l'onde.(Exemples : cas de la corde ; onde à la surface d'un liquide…)
- ✓ Une onde est dite transversale si la direction de propagation est parallèle à la direction de l'onde.(Exemples : cas du ressort, son…)
- ✓ Lorsque le milieu de propagation est ouvert, les ondes progressent en s'éloignant de la source: elles sont dites ondes progressives

REMARQUE :

- ❖ Les ébranlements transversaux constituent des ondes transversales.
- ❖ Les ébranlements longitudinaux constituent des ondes longitudinales.

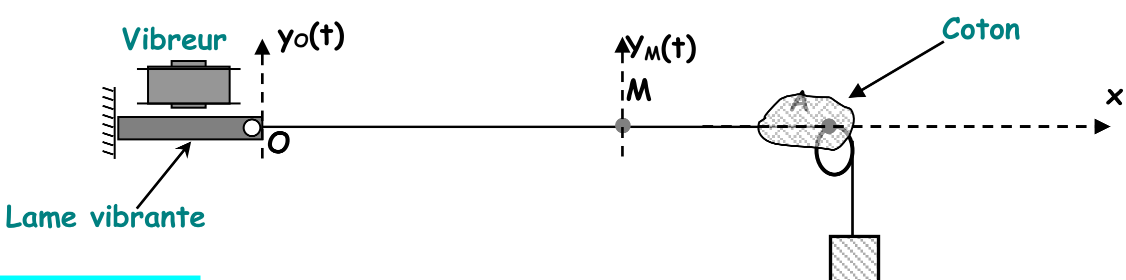
II- Onde progressive le long d'une corde élastique tendue:

1) Stroboscope :

- ✓ C'est une source lumineuse qui émet des éclairs successives de période T_e ;
- ✓ Te : la période entre deux éclairs successifs
- ✓ Il permet d'observer un mouvement vibratoire

2) Etude expérimentale :

Une corde élastique de faible raideur est reliée à un vibreur qui oscille à une fréquence N.



Rôle de coton : amorti l'onde en A et évite sa réflexion de sorte que la corde soit le siège uniquement de l'onde progressive

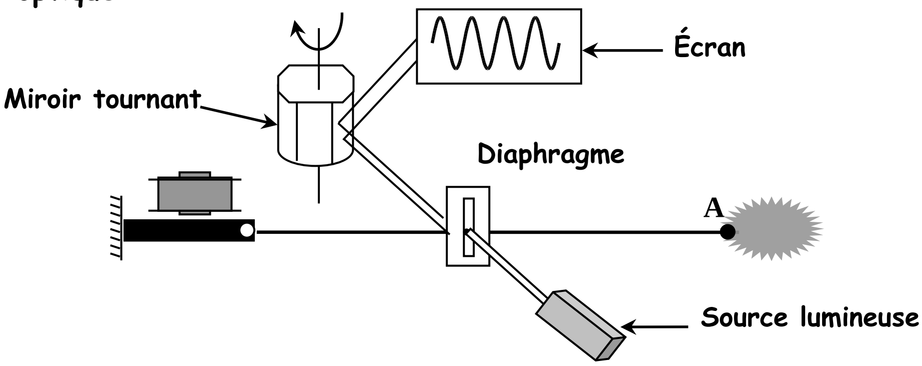
✓ Lorsque le vibreur est en marche, la corde parait sous forme d'une bande floue car tous les points sont en mouvement.

✓ Les vibrations imposées à l'extrémité O de la corde élastique tendue sont transmises aux différents autres points.

3) Mouvement d'un point donné de la corde:

a- Expérience :

Pour étudier le mouvement d'un point M donné de la corde, on utilise la méthode d'analyse optique:



✓ On observe sur l'écran une sinusoïde : l'onde est dite sinusoïdale

✓ Au cours de la propagation d'une onde transversale sinusoïdale le long d'une corde élastique, chacun des ses points (sauf l'extrémité fixe A) reproduit le mouvement de la source O avec le même amplitude mais avec un certain retard.

✓ Le mouvement de point M est rectiligne sinusoïdale $y_M(t)=a\sin(\omega t+\varphi_M)$

✓ Le mouvement du point source O est rectiligne aussi sinusoïdal tel que :$y_0(t)=a\sin(\omega t+\varphi_0)$

b-Conclusion:

❖ Les vibrations imposées à l'extrémité d'une corde élastique tendue sont transmises aux différents points de celle-ci. Le phénomène qui en résulte constitue une onde transversale.

❖ Au cours de la propagation d'une onde transversale sinusoïdale le long d'une corde élastique, chacun des points de cette corde (part l'extrémité fixe A) vibre sinusoïdalement avec la même amplitude que la source.

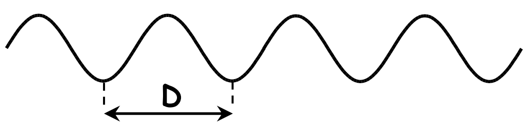
c-Aspect instantané de la corde:

On éclaire la corde excité par le vibreur avec un stroboscope électronique de période T_e réglable.

Premier cas :

Pour T_e = p T(ou N=p.Ne) (p ∈ IN* et T étant la période du vibreur):

La corde parait immobile sous forme d'une sinusoïde (immobilité apparente) de période égale à une longueur D.



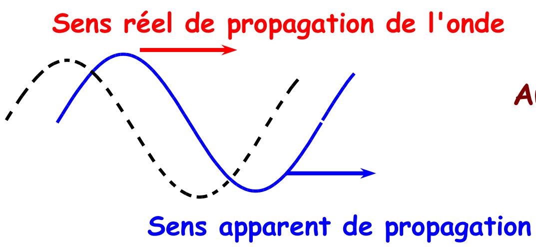
✓ Tous les points équidistants de k.D (k ∈ IN*) ont le même état de mouvement.

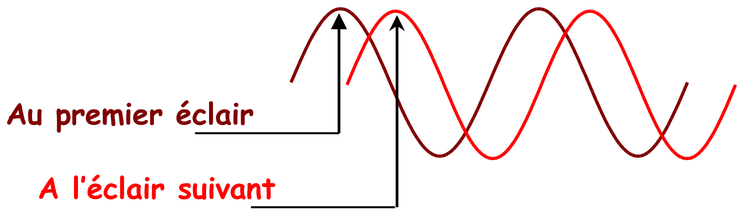
✓ D représente la période spatiale de l'onde et s'appelle longueur d'onde notée λ:

✓ Définition de la longueur d'onde : c'est la distance parcourue par l'onde pendant une période T.

- Deuxième cas :
- Pour T_e légèrement supérieure à pT :(N est légèrement supérieure à $p.N_e$)

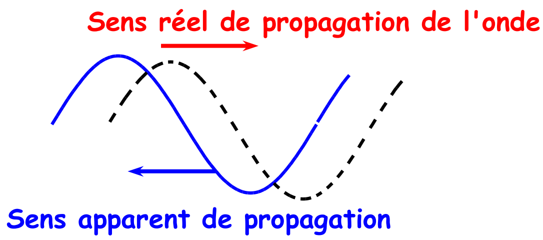
La corde parait en mouvement ralenti dans le sens direct (mouvement apparent lent dans le sens réel de propagation de l'onde).

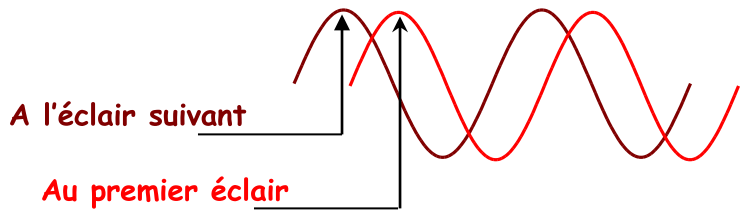




- <u>Pour T_e légèrement inférieure à p T:</u>(N est légèrement supérieur à p.N_e)

La corde parait en mouvement ralenti dans le sens inverse (mouvement apparent lent dans le sens contraire que le sens réel de propagation de l'onde.





Conclusion :

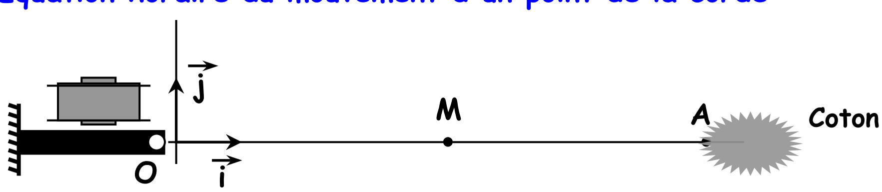
La propagation d'une onde est caractérisée par deux périodicités à la fois:

- ✓ Une périodicité dans le temps appelée périodicité temporelle : La période T est celle de la source.
- ✓ Une périodicité dans l'espace, appelée périodicité spatiale : La période spatiale λ, contrairement à la période T, ne dépend pas seulement de la source mais dépend aussi du milieu de propagation.
- ✓ La relation ente la période temporelle T et la période spatiale λ :

$$\lambda = v.T \quad \text{soit} \quad \lambda = \frac{v}{N}$$

III- Etude théorique:

1- Equation horaire du mouvement d'un point de la corde:



A chaque instant t, l'onde qui se propage le long de la corde impose au point M une élongation y(t) qui est celle de la source à l'instant $(t - \theta)$, avec θ le temps mis par l'onde pour se propager de S à M.

On suppose que l'amortissement est négligeable: $a_S = a_M = a$.

$y_M(t) = y_S(t - \theta)$, avec $y_S(t) = a \sin(\omega t + \varphi_S)$

$y_M(t) = y_S(t - \theta) = a \sin\{\omega(t - \theta) + \varphi_S\}$ pour $t \geq \theta$

Avec $\theta = \frac{x}{v}$, v étant la célérité de l'onde et $\omega = \frac{2\pi}{T}$

⇨ $y_M(t) = a \sin\{\omega t - \omega\theta + \varphi_S\}$; avec $\omega\theta = \frac{2\pi}{T}\frac{x}{v} = \frac{2\pi x}{\lambda}$

$$\begin{cases} y_M(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S\right) ; & \text{pour } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 ; & \text{pour } 0 \leq t < \theta \end{cases}$$

Conclusion :

Au cours de la propagation d'une onde sinusoïdale entretenue le long d'une corde élastique, tout point M de la corde, d'abscisse x par rapport à la source, vibre sinusoïdalement avec une période T égale à celle de la source S mais avec une phase initiale qui dépend de sa position sur la corde.

2- Déphasage par rapport à la source:

Pour $t \geq \theta$: $y_M(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S\right) = a \sin(\omega t + \varphi_M)$; $\varphi_M = -\frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S$

Le déphasage entre les élongations $y_s(t)$ et $y_M(t)$ est: $\boxed{\Delta\varphi = (\varphi_M - \varphi_S) = -\frac{2\pi x}{\lambda}}$

a/ Points de la corde vibrant en phase avec la source:

Un point M vibre en phase avec la source si :

$\varphi_S = \varphi_M + 2k\pi$ avec $k \in IN^*$, soit $\Delta\varphi = (\varphi_M - \varphi_S) = -2k\pi = -\frac{2\pi x}{\lambda}$

⇨ $\boxed{x = k\lambda \quad \text{avec } k \in IN^*}$

Soit ℓ la longueur de la corde au repos : $0 < x < \ell$ ⇨ $\boxed{0 < k < \frac{\ell}{\lambda} \ ; \ k \in IN^*}$

b/ Points de la corde vibrant en opposition de phase avec la source:

Un point M vibre en phase avec la source si : $y_S(t) = -y_M(t)$

$\varphi_S = \varphi_M + (2k + 1)\pi$ avec $k \in IN$, soit $\Delta\varphi = (\varphi_M - \varphi_S) = -(2k + 1)\pi = -\frac{2\pi x}{\lambda}$

⇨ $\boxed{x = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{avec } k \in IN}$

ℓ étant la longueur de la corde au repos : $0 < x < \ell$ ⇨ $\boxed{-\frac{1}{2} < k < \frac{\ell}{\lambda} - \frac{1}{2} ; \ k \in IN}$

c/ Points de la corde vibrant en quadrature avance de phase avec la source:

Un point M vibre en quadrature avance de phase avec la source si : $\boxed{y_S(t)=y_M(t+\frac{T}{4})}$

$$\varphi_S = \varphi_M - \frac{\pi}{2} + 2\,k\pi = \varphi_M + (4\,k - 1)\,\frac{\pi}{2} \text{ avec } k \in IN^*$$

$$\text{soit } \Delta\varphi = (\varphi_M - \varphi_S) = -\,(4\,k - 1)\,\frac{\pi}{2} = -\,\frac{2\pi\,x}{\lambda} \Rightarrow \boxed{x = (4\,k - 1)\,\frac{\lambda}{4} \quad \text{avec } k \in IN^*}$$

ℓ étant la longueur de la corde au repos : $0 < x < \ell \Rightarrow \boxed{\frac{1}{4} < k < \frac{\ell}{\lambda} + \frac{1}{4}\ ;\ k \in IN^*}$

d/ Points de la corde vibrant en quadrature retard de phase avec la source:

Un point M vibre en quadrature retard de phase avec la source si:

$$\varphi_S = \varphi_M + \frac{\pi}{2} + 2\,k\pi = \varphi_M + (4\,k + 1)\frac{\pi}{2} \quad \text{avec } k \in IN$$

$$\text{soit } \Delta\varphi = (\varphi_M - \varphi_S) = -\,(4\,k + 1)\,\frac{\pi}{2} = -\,\frac{2\pi\,x}{\lambda} \Rightarrow \boxed{x = (4\,k + 1)\,\frac{\lambda}{4} \quad \text{avec } k \in IN}$$

ℓ étant la longueur de la corde au repos : $0 < x < \ell \Rightarrow \boxed{-\,\frac{1}{4} < k < \frac{\ell}{\lambda} - \frac{1}{4}\ ;\ k \in IN}$

3- Aspect de la corde à un instant t donné:

- Pour un point M donné, à tout instant t on a: $y_M(t)=a\sin(\omega t - \frac{2\pi\,x}{\lambda})$ pour $\varphi_S = 0 \Leftrightarrow$

$y_M(t)$ est une fonction sinusoidale de temps t, de période T et de phase initiale $(-\frac{2\pi\,x}{\lambda})$

- Pour un instant t donné, on peut écrire: $y_M(t)=a\sin(\omega t - \frac{2\pi\,x}{\lambda}+\pi)$ pour $\varphi_S = \pi \Leftrightarrow$

$y_t(x)$ est une fonction sinusoidale d'espace x, de période λ et de phase initiale $(-\,\omega t+\pi)$

Donc la courbe représentant $y_t(x)$ donne l'aspect de la corde à cet instant t.

Remarque:

Si les vibrations de la source commence à t = 0 s et pour l'instant t choisi il se peut qu'à cet instant l'onde n'a pas atteint l'autre extrémité de la corde: donc il faut déterminer la distance x_f (front d'onde) parcourue par l'onde entre t = 0 s et l'instant t choisi.

$$\boxed{x_f = v.t = n.\lambda \quad \text{tel que } n = \frac{1}{T}}$$

Exemple:

Une onde de fréquence $N = 100$ Hz et d'amplitude $a = 6$ mm se propage le long d'une corde de longueur $\ell = 60$ cm avec une célérité $v = 12\ m.s^{-1}$.

1) Calculer la période T.
2) Déterminer la longueur d'onde λ.
3) Exprimer la longueur de la corde en fonction de λ.
4) Déterminera l'aspect de la corde à l'instant $t_1 = 3,25\ 10^{-2}$ s .

Corrigé:

1) $T=\frac{1}{N}=0.01s=10^{-2}s$.
2) $\lambda = v.T = v/N = 0,12$ m
3) $\ell = 5\ \lambda$
4) L'aspect de la corde à l'instant $t_1 = 3,25\ 10^{-2}$ s $= 3,25$ T.

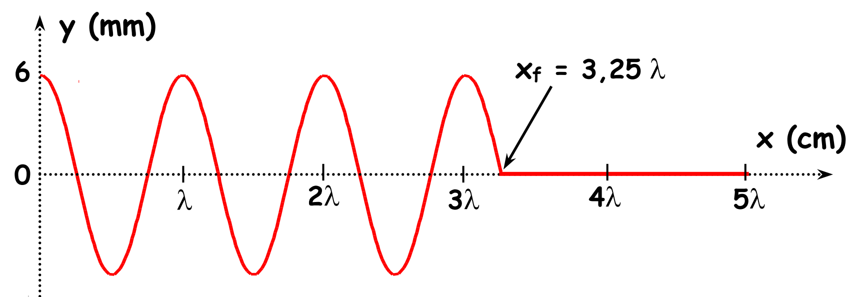
✓ $x_f = \lambda t/T = 3,25\ \lambda < \ell$: alors l'onde n'a pas atteint l'autre extrémité fixe de la corde, donc:

$$\begin{cases} y_{t1}(x) = a \sin\left(\omega t_1 - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) ; & \text{pour } x \le x_f \\ y_{t1}(x) = 0 ; & \text{pour } x > x_f \end{cases}$$

✓ $\omega t_1 = 2\pi\ t_1/T = 6,5\ \pi = 6\pi + \pi/2$.

$$\begin{cases} y_{t1}(x) = 6.\ 10^{-3} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) = 6.\ 10^{-3} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) ; & \text{pour } x \le 3,25\ \lambda \\ y_{t1}(x) = 0 ; & \text{pour } x > 3,25\ \lambda \end{cases}$$

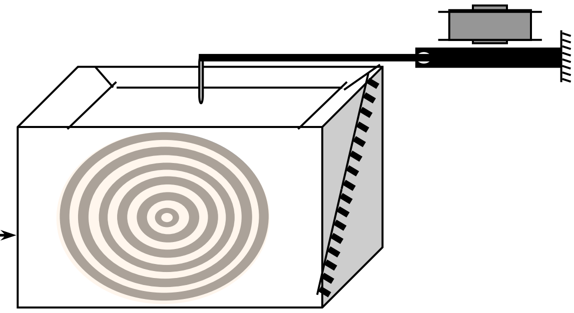
Pour $x > 3,25\ \lambda$: $y_{t1}(x) = 0$: l'autre partie de la corde est encore au repos.



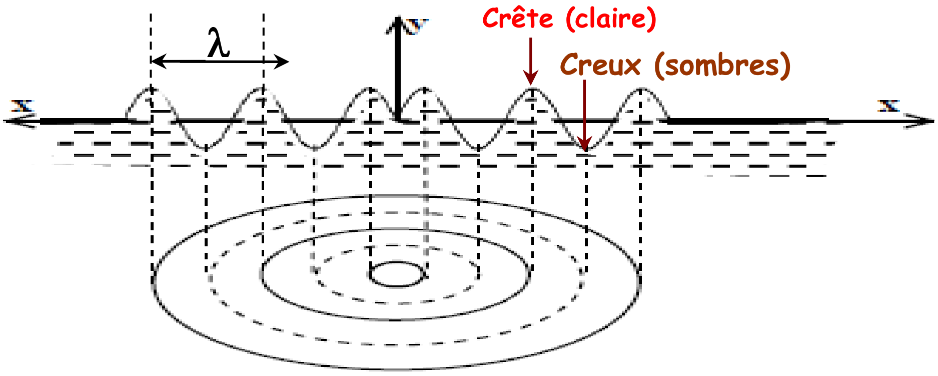
IV- Onde sinusoïdale à la surface de l'eau:

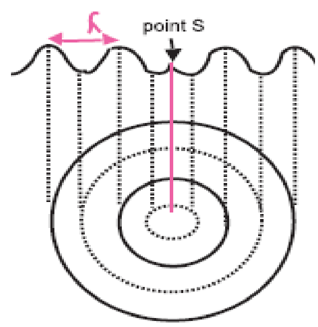
1- Expérience et observation :

Cuve à ondes



- Le vibreur muni pointe affleure la surface libre de la nappe d'eau de la cuve.
- Lorsque le vibreur est en marche, la pointe impose au point S des vibrations verticales sinusoïdales.
- L'onde progressive à la surface de l'eau est une onde transversale qui se propage dans toutes les directions.
- <u>A la lumière ordinaire</u> :
- la surface de l'eau parait sous forme des rides circulaires concentriques sur la source ponctuelle S.

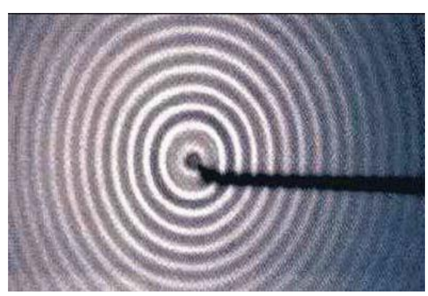




- Les rides circulaires peuvent être des crêtes ou des creux :
  Les crêtes : ensemble des points d'élongation maximale.
  Les creux : ensemble des points d'élongation minimale.
  <u>A la lumière stroboscopique :</u>

  1ier cas : $N_e=\frac{N}{k}$ ou $N=k.N_e$ $k\in\mathbb{N}^*$

  La surface d'eau apparaît sous formes de rides circulaires concentriques immobiles et équidistantes.



2ième cas : Ne légèrement supérieur à $\frac{N}{k}$ ou N légèrement supérieur $k.N_e$ $(k\in\mathbb{N})$.Les rides semblent progresser au ralentie dans le sens inverse (convergent vers la source).

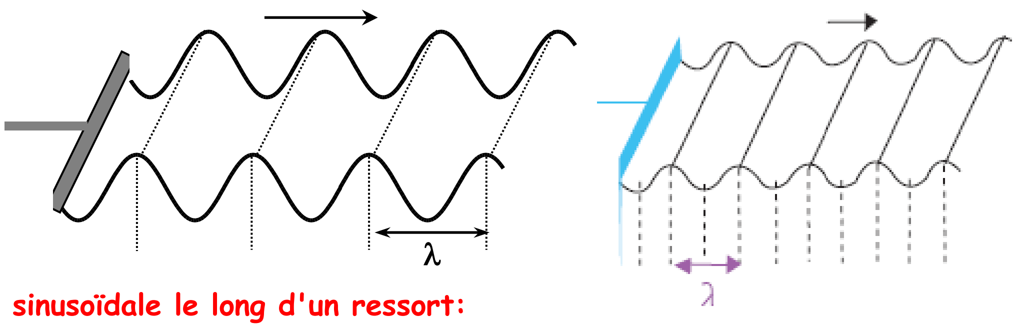
3ième cas : Ne légèrement inferieur à $\frac{N}{k}$ ou N légèrement inferieur $k.N_e$ $(k\in\mathbb{N})$.

Les rides semblent progresser au ralentie dans le sens réel (en s'éloignant de la source).

Remarque:

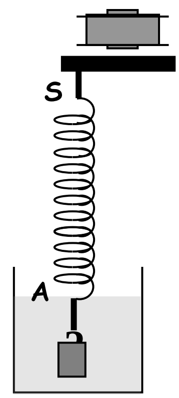
✓ Si on utilise une réglette, il se forme des rides rectilignes parallèles à la réglette et qui se propage perpendiculairement à la réglette.

✓ La distance séparent deux rides consécutifs est égale à la longueur d'onde λ.



V- Onde sinusoïdale le long d'un ressort:

- L'onde le long d'un ressort est une onde longitudinale car la direction de propagation est parallèle à la direction de l'ébranlement.
- Lorsque le vibreur est en marche, à la lumière ordinaire le ressort parait flou.
- En lumière stroboscopique:



❖ $T_e = p\,T$: le ressort parait immobile sous forme d'une succession de zones alternativement comprimées et dilatées.

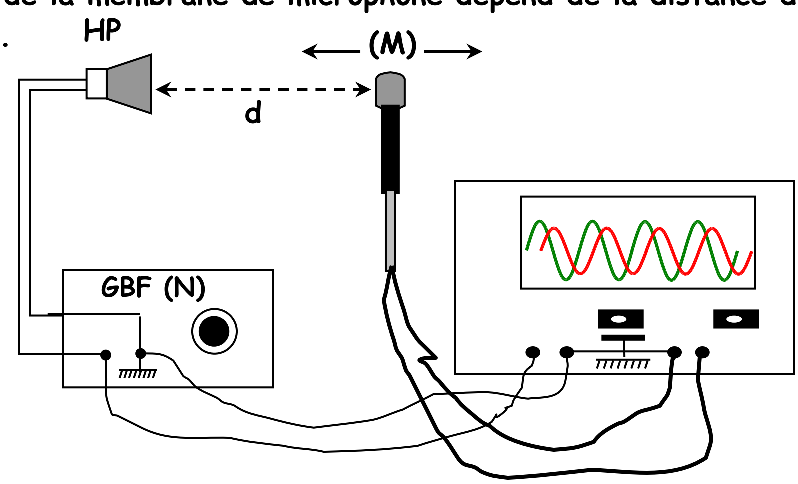
❖ T_e légèrement supérieure à $p.T$: les zones dilatées et comprimées paraissent progresser lentement le long de ressort de S vers A.

❖ T_e légèrement inférieure à $p.T$: les zones dilatées et comprimées paraissent progresser lentement le long de ressort de A vers S.

VI- L'onde sonore:

✓ Les deux oscillogrammes de même fréquence N traduisent les vibrations sinusoïdales de la membrane du HP imposées par le GBF et les vibrations de la membrane du microphone imposées par le son émis par le HP.

✓ L'amplitude des vibrations de la membrane de microphone dépend de la distance d qui sépare le microphone et le HP.



Le son est de nature vibratoire. C'est une onde mécanique, appelée onde sonore et plus particulièrement acoustique lorsqu'elle est susceptible d'être perçue par l'oreille de l'homme. L'onde sonore émise par une source ponctuelle est une onde progressive sphérique mais qui s'atténue en s'éloignant de la source à cause de la dilution d'énergie.