

***Des ondes de toutes sortes...***

***Diffraction...***

***Interférences...***

Mardi 23 février 2016

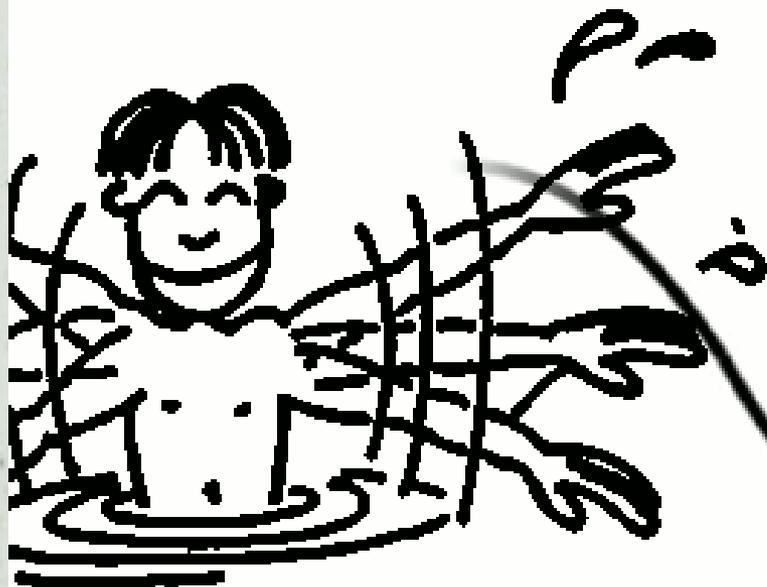
**Nous avons tous vu les vagues de la mer, entendu le sanglot long du violon : des exemples de mouvements ondulatoires !**

**Pour la lumière, Newton pense à une nature corpusculaire. Ce n'est que plus tard dans l'histoire des sciences que la nature ondulatoire a été reconnue... certaine au XIX<sup>ème</sup>, fautive au XX<sup>ème</sup> où elle redevient corpusculaire !**

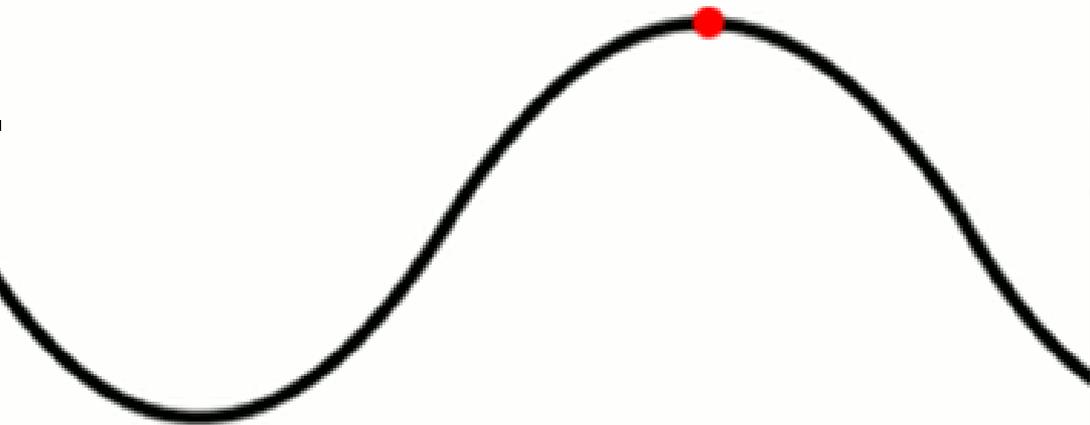
**Pour le sujet de ce soir ce sera la nature ondulatoire de la lumière qui sera considérée.**

## Les nombres qui caractérisent une onde :

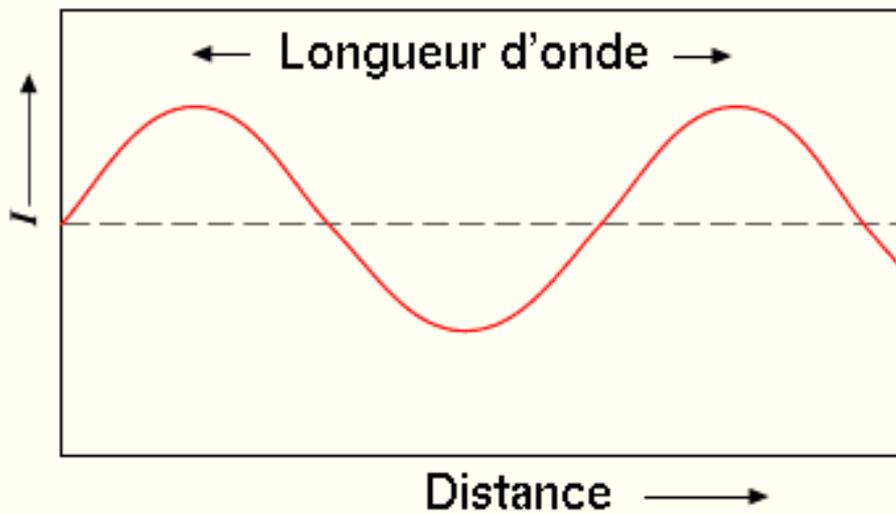
- 1) La longueur d'onde : distance entre deux sommets ou deux creux... notée  $\lambda$ , exprimée en mètres.
- 2) La période : notée  $T$ , exprimée en secondes, c'est le temps qu'il faudra à l'onde pour revenir dans un état identique à l'état actuel.
- 3) La fréquence : c'est l'inverse de la période, notée  $f$  ou  $\nu$  (lettre grecque : nu), elle s'exprime en Hertz,  $f = T^{-1}$
- 4) L'amplitude, on en trouve deux définitions , l'une double de l'autre ! C'est la « hauteur » de l'onde (distance verticale entre un creux et un sommet) ou sa moitié.
- 5) La célérité ou vitesse notée  $v$ , ( $c$  pour la lumière). Il est évident que  $\lambda = v T$ .



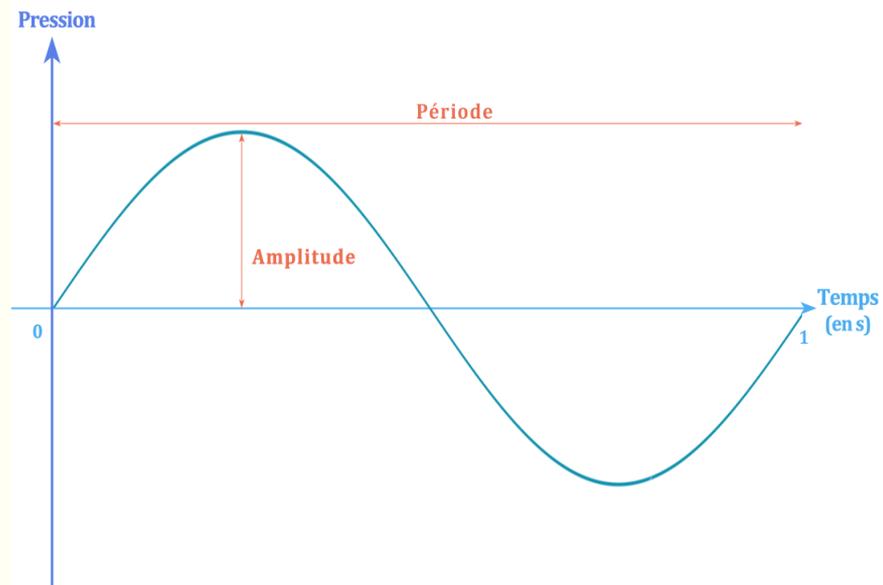
$$t = T$$



Onde

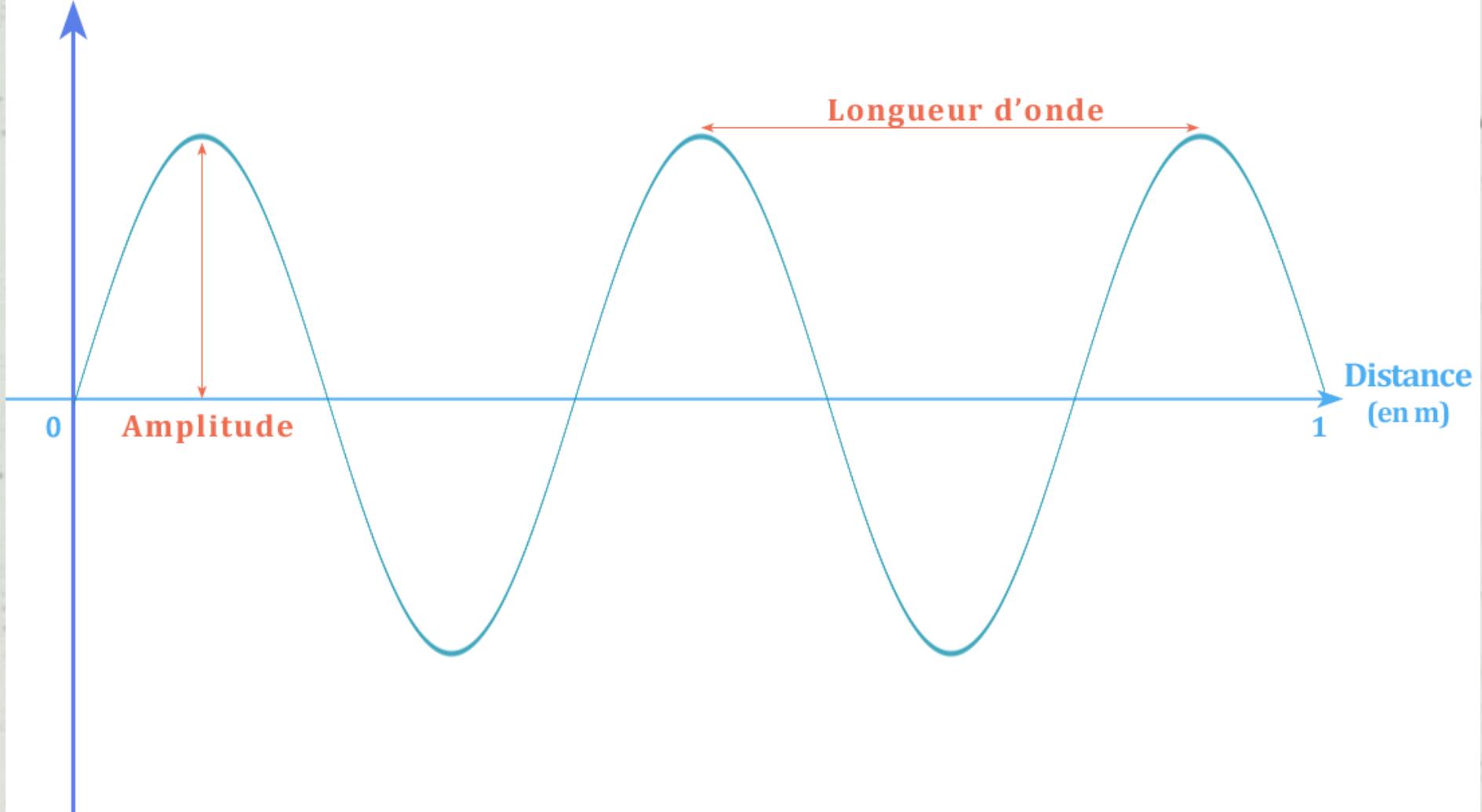


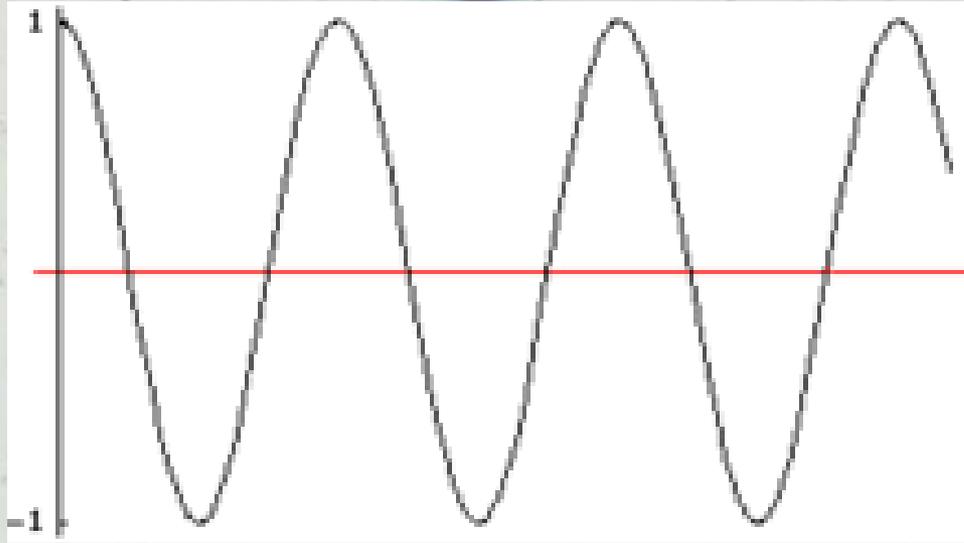
Fréquence de l'onde : 1 Hz



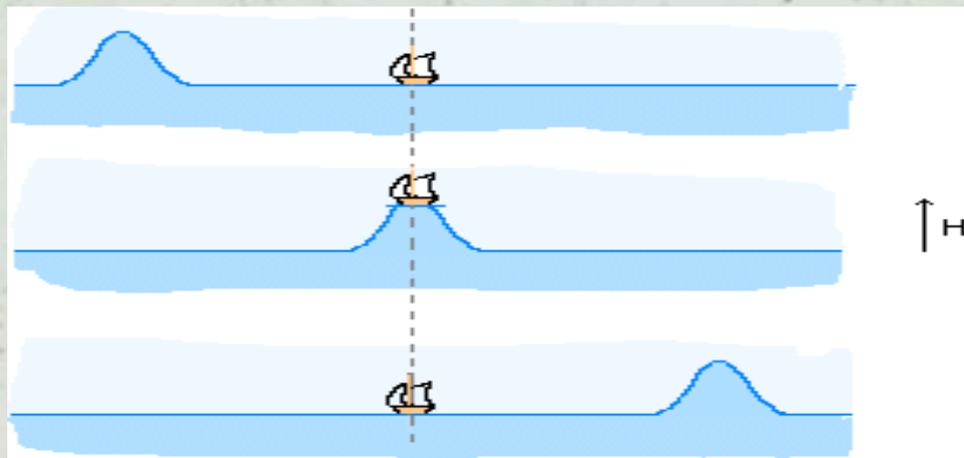
Fréquence de l'onde : 2,5 Hz

Pression





**Onde progressive : elle progresse dans le sens du déplacement, Par exemples le son, un ressort spiral.**



**Onde transversale, le déplacement du support est perpendiculaire au déplacement, par exemples les vagues, les cordes vibrantes.**



Le ver de terre (à gauche) et la sangsue (à droite) se déplace en contractant et décontractant des parties de leur corps et avancent comme une onde longitudinale



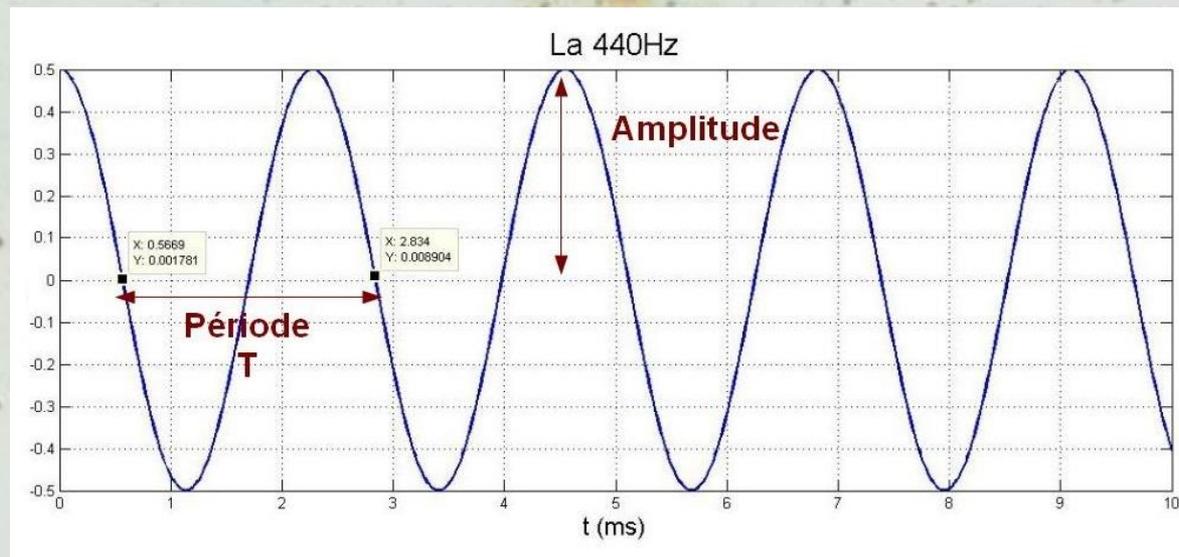
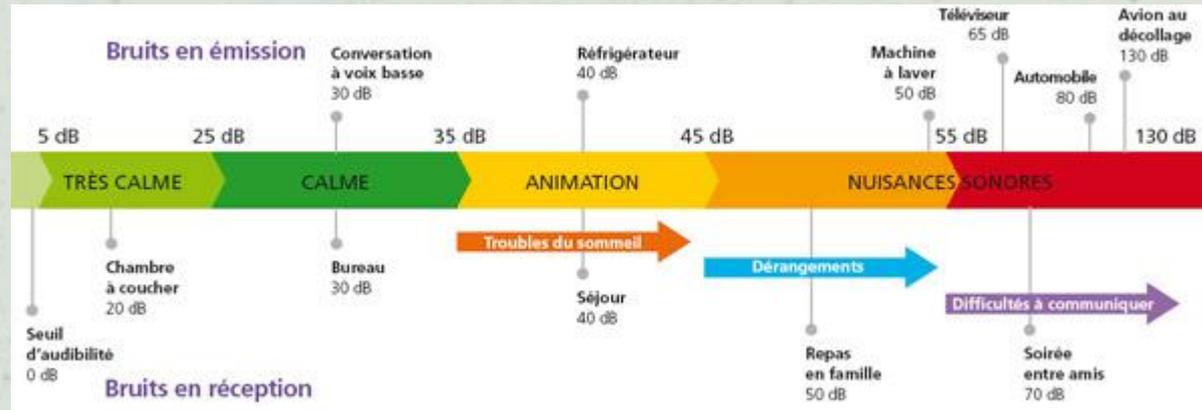
Le serpent (à gauche) et le congre (à droite), se déplacent comme des ondes transversales : leur corps ondulent perpendiculairement à la trajectoire qu'ils suivent

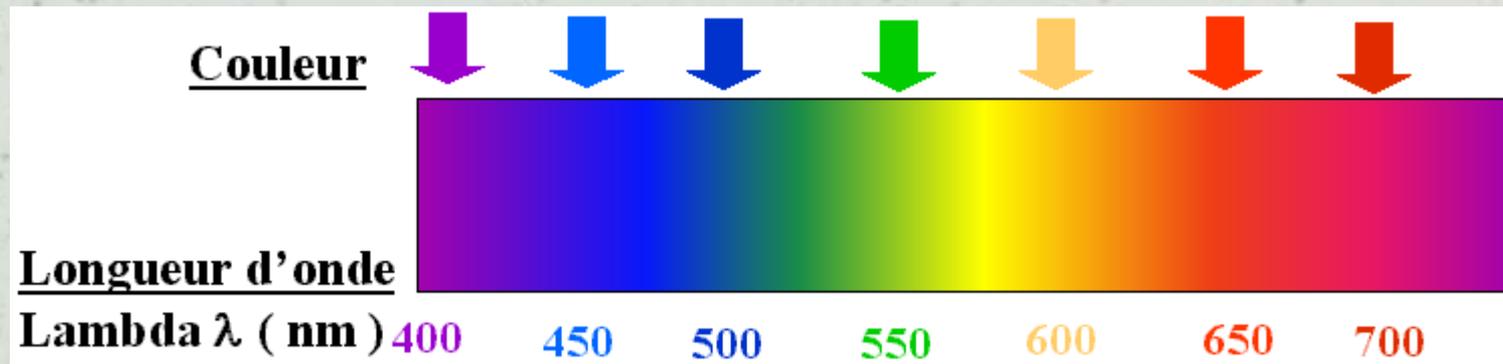


Une application Java pour simuler des ondes en interférence (fentes de Young) :

<http://www.intellego.fr/soutien-scolaire-cpge-2-psi/aide-scolaire-physique/diffraction-par-deux-fentes-d-young/55687>

<http://tropdebruit.fr/2014/03/caracterisation-des-ondes-sonores/>





# Quand une onde rencontre un obstacle : diffraction.



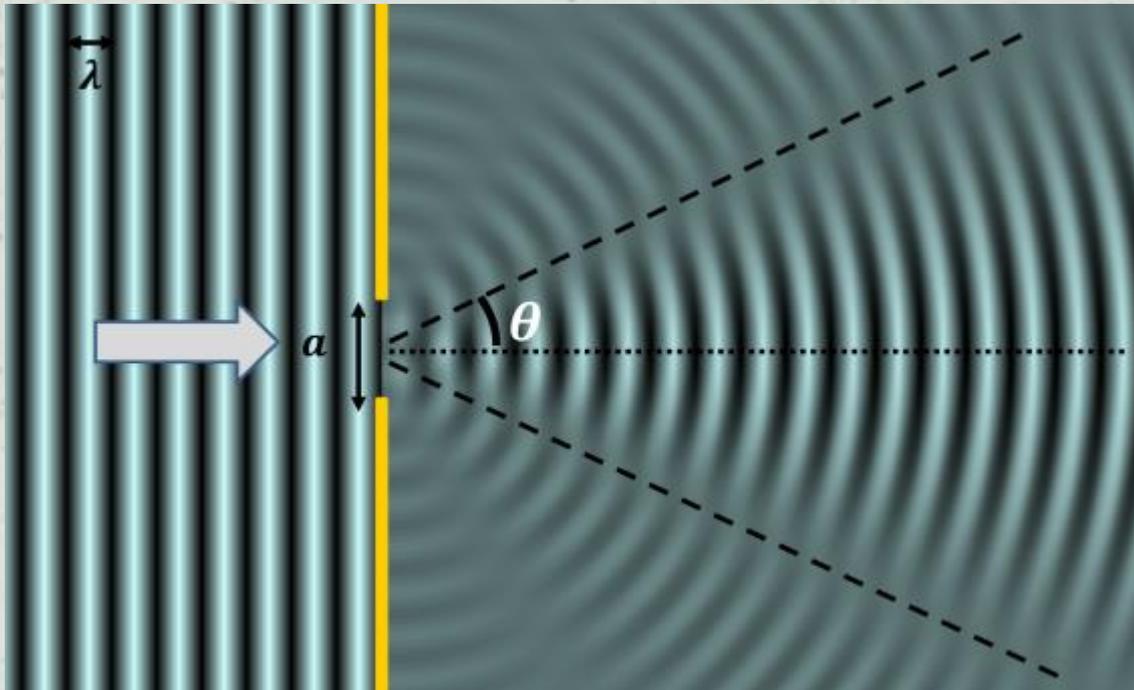
**Pour les vagues arrivant entre deux points durs, se forme au passage une figure de diffraction.**

Images 1 sur : <http://scphysiques.free.fr/TS/2012TSinfbrouillon.htm>

Image 2 sur : <http://lewebpedagogique.com/physique/ondes-mecaniques-progressives-periodiques-ce-quil-faut-en-retenir/>

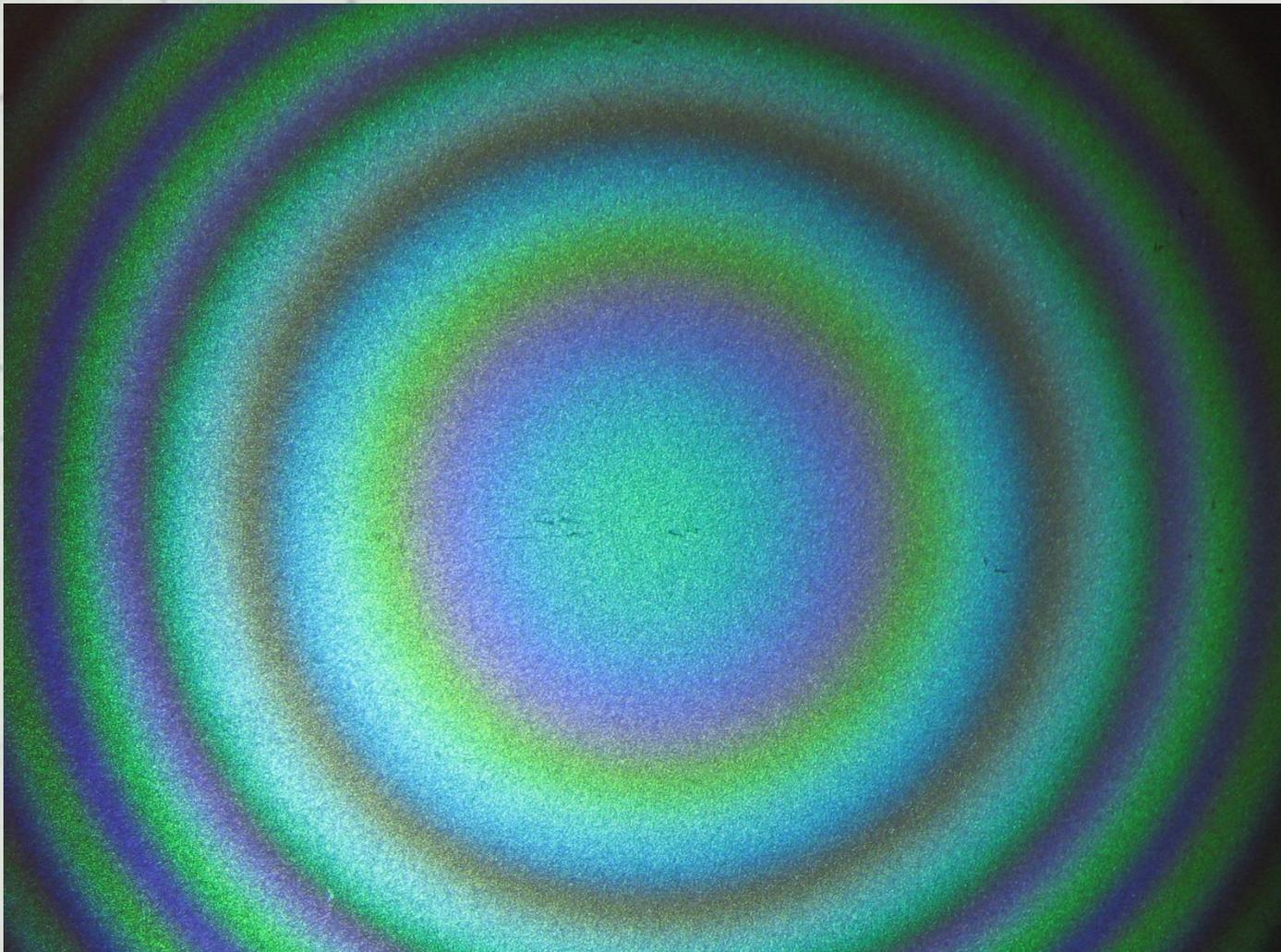
Je vous conseille d'aller voir une animation sur la relation entre la longueur d'onde « arrivante » et les ondes diffractées sur le site :

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/cuve\\_ondes/diffraction.php](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/cuve_ondes/diffraction.php)



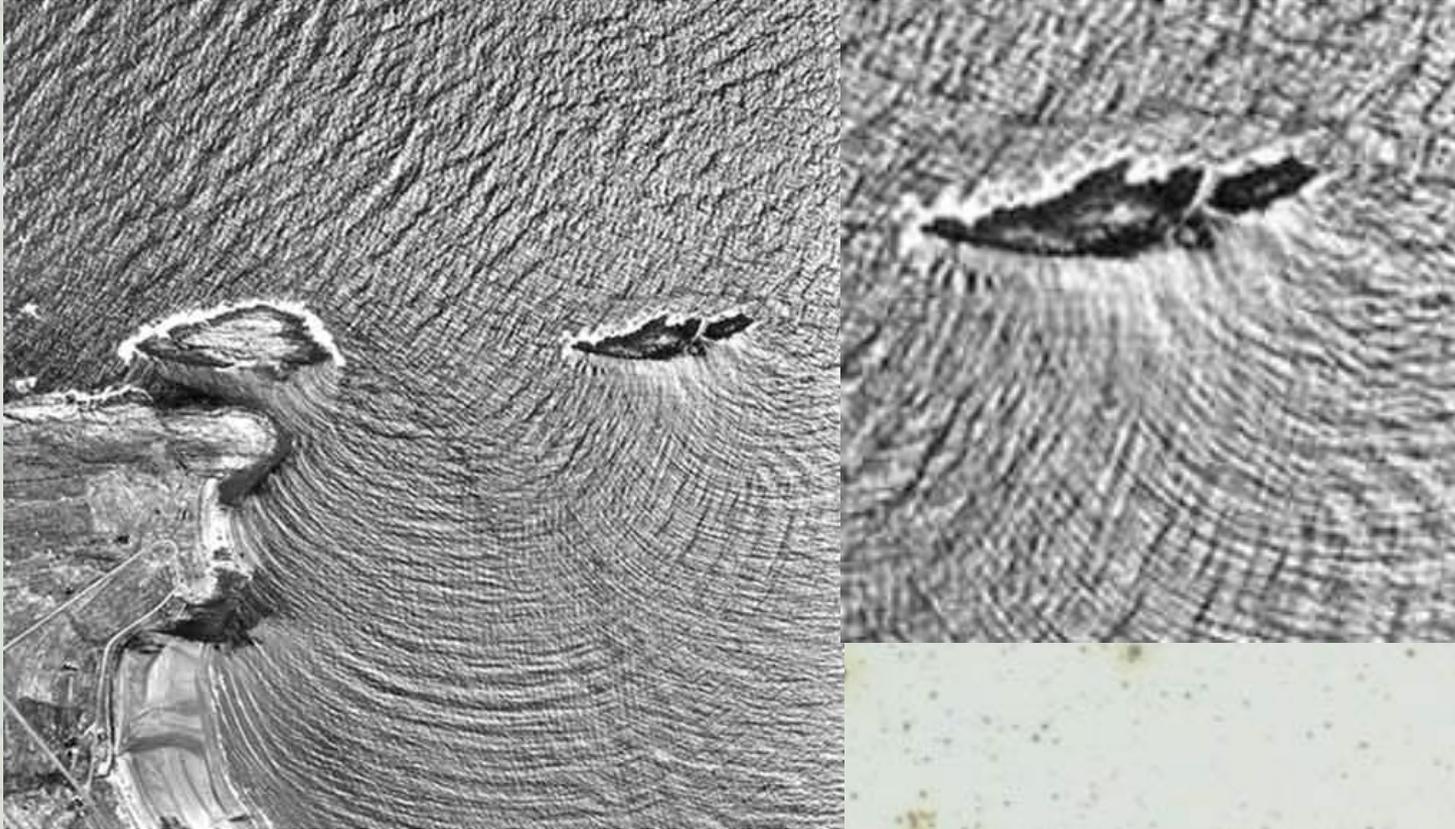


**Une image classique en astronomie : l'étoile double Albireo (béta du Cygne) avec les croix de diffraction dues aux croisillons portant le miroir secondaire d'un télescope de Newton.**



**Figure de diffraction au travers d'un trou circulaire en lumière « blanche »**

## Quand deux ondes se combinent : interférences



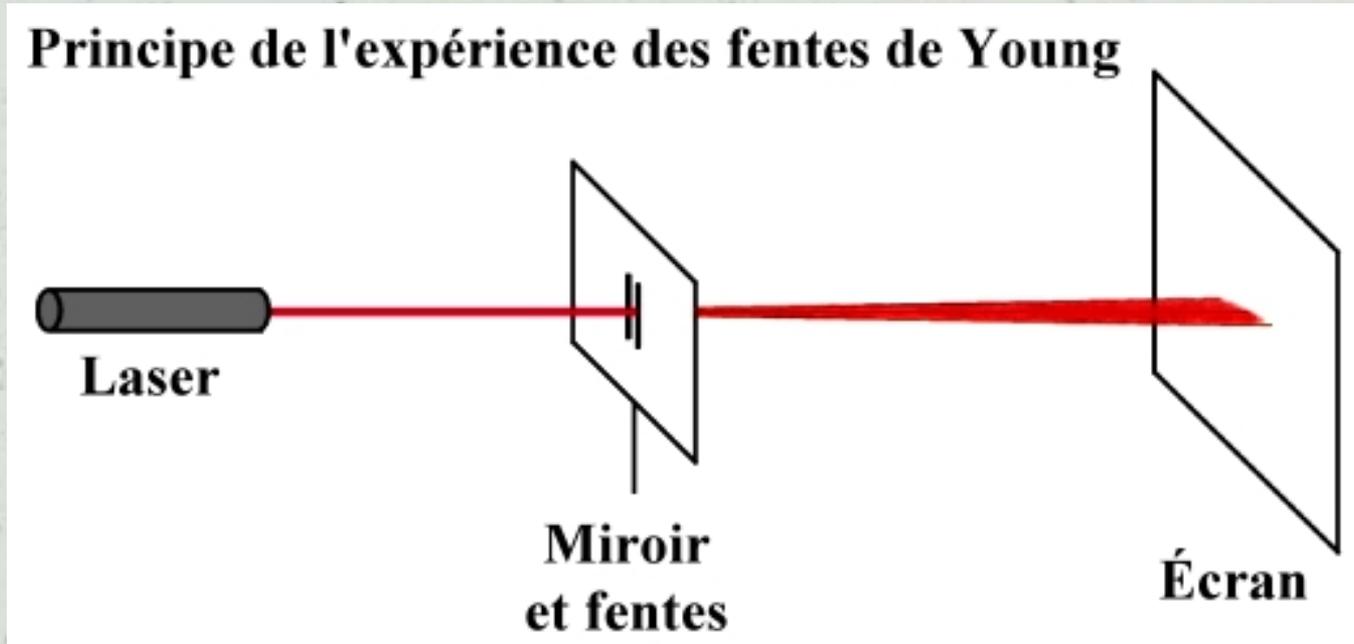
**Avez-vous remarquer au-dessous du rocher, les vagues venant de la gauche se combinent avec celles arrivant de la droite, formant un entrelacs de crêtes et de creux ? Elles « interfèrent » !**



**Interférences créées dans le sillage de deux bateaux.**

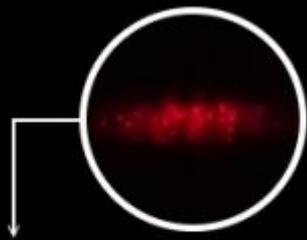
<http://blog.slate.fr/globule-et-telescope/files/2013/01/Interf%C3%A9rences-des-ondes-provosu%C3%A9es-par-deux-bateaux-Photo-Dronir-via-Flickr-CC.jpg>

**Un dispositif simple pour avoir des interférences : les fentes de Young. Vous trouverez sur le site donné en référence de quoi vous distraire !**



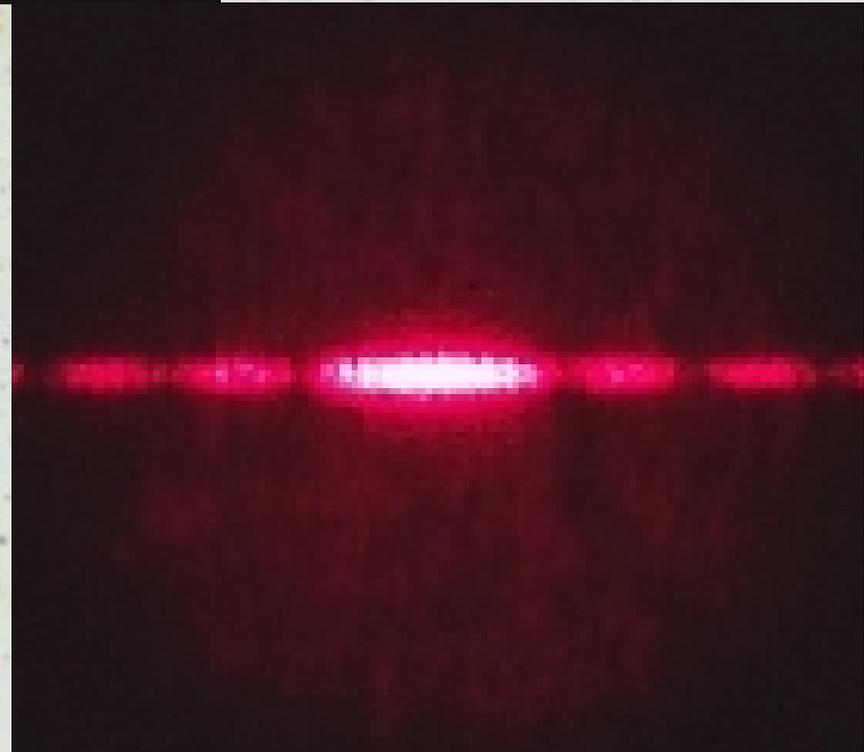
<http://www.magnetosynergie.com/Pages-Fr/Presentez/FentesDeYoung/ExperienceFentesDeYoung-01.htm>

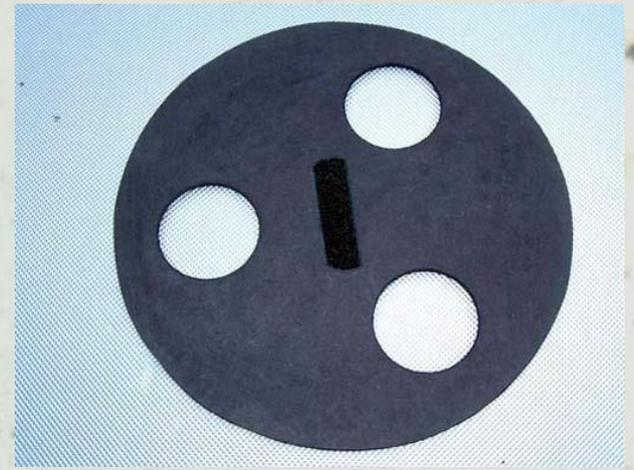
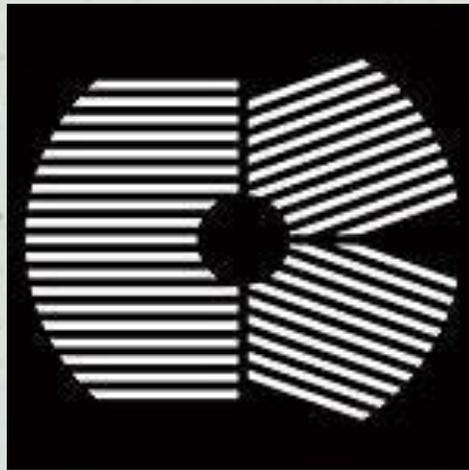
Détail



**Voici l'image  
obtenue... On peut  
à partir de cette  
image calculer des  
longueurs d'ondes  
des largeurs de fils...**

**Agrandissement de la partie  
centrale : constater la présence  
des raies de diffraction sur  
chaque « globule »**

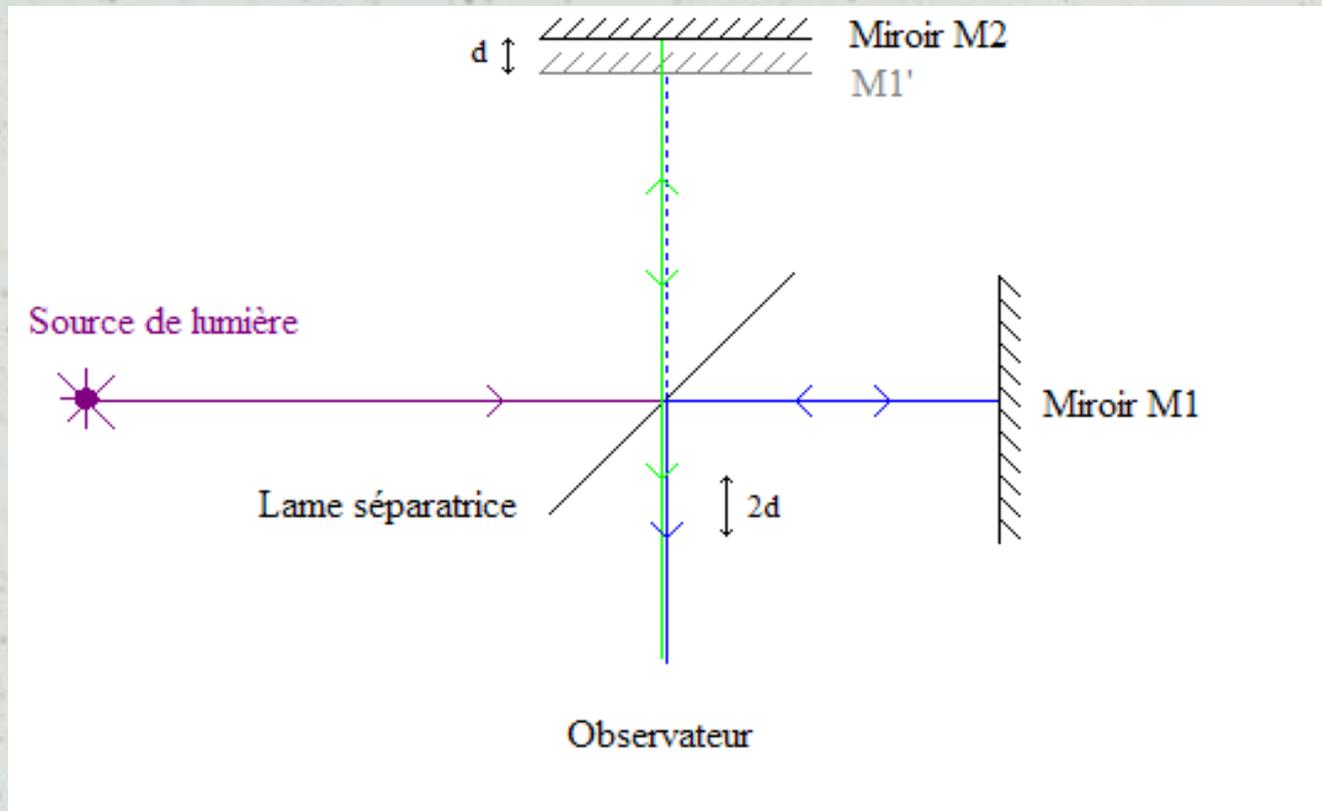




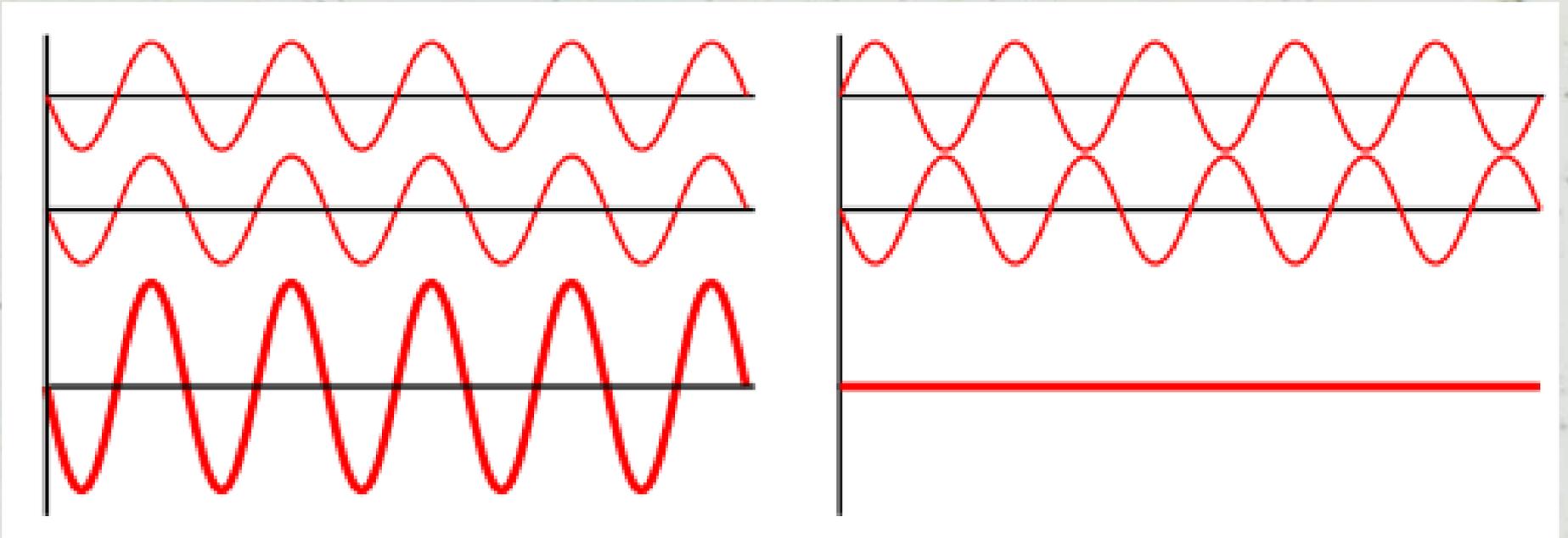
**Une application astronomique des interférences : masque de Hartman (à droite), masque de Bahtinov. Ces masques placés devant l'ouverture du télescope permettent une mise au point rapide et (presque) parfaite.**

Sur les 3 images d'une étoile (avec le masque Bahtinov), l'axe central doit être un axe de symétrie pour le « X ». Trop à gauche/droite sur les 2 premières. Correct sur la dernière.

**Un autre dispositif : l'interféromètre de Michelson.**  
**L'observateur placé en bas va observer les faisceaux lumineux recombinaés après des parcours différents, l'un vert, l'autre bleu, issus de la même source – lumière cohérente.**



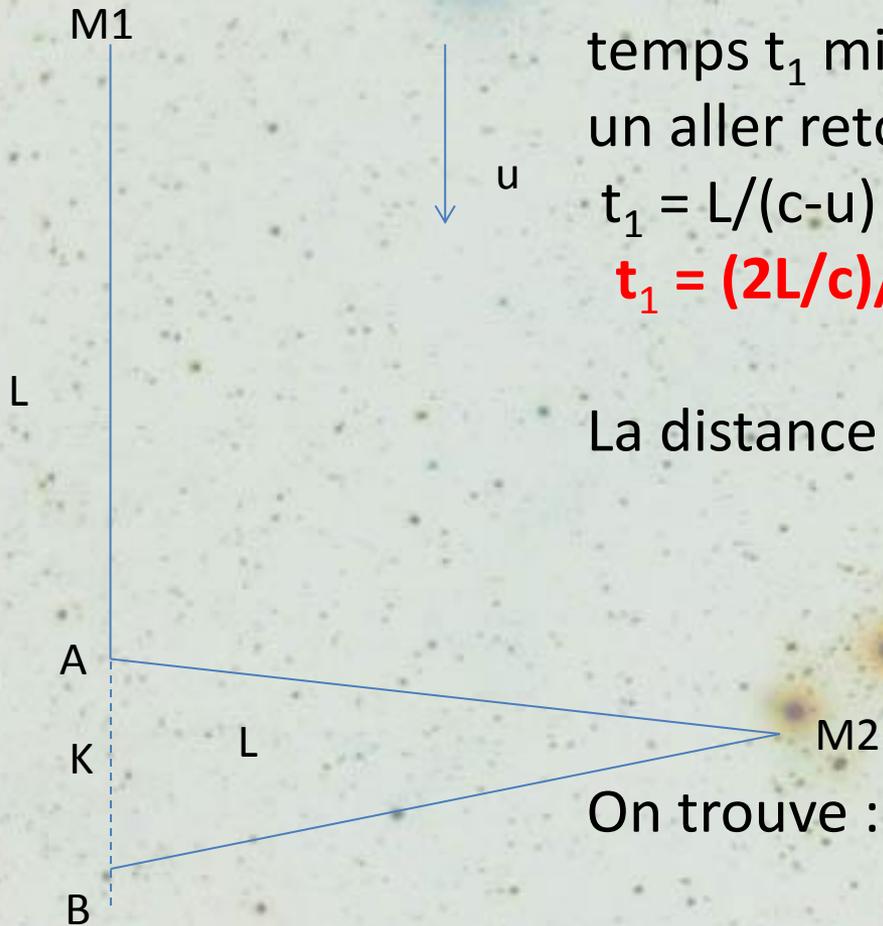
**Les deux faisceaux (même longueur d'onde et même période), peuvent avoir une différence de phase. Les figures montrent deux cas limites : écart en phase nul et écart en phase égal à une demi période :**



**L'observateur voit une tâche brillante dans le premier cas, une tâche sombre dans le second.**

**À l'époque on pensait qu'il fallait un milieu très spécial pour que les ondes lumineuses se propagent à l'image du son qui ne se propage pas dans le vide. Ce milieu, l'éther, pouvait être considéré comme « un repère fixe, universel » comme en avait besoin la théorie de la gravitation de Newton. Sa mise en évidence était un enjeu majeur de la science.**

**Michelson conçut l'expérience suivante. Si la lumière parcourt une longueur identique dans les branches de l'interféromètre, en orientant correctement un bras dans le sens de déplacement de la Terre et l'autre perpendiculairement à ce sens, les temps de parcours seront différents on doit observer des interférences !**



La vitesse de lumière n'est pas une limite. Le temps  $t_1$  mis par l'onde verte (cf ci-dessus) pour un aller retour est

$$t_1 = L/(c-u) + L/(c+u) \quad \text{Tous calculs faits :}$$

$$t_1 = (2L/c)/(1-\beta^2) \text{ avec } \beta = u/c$$

La distance AB est égale à  $ut_1$ .

Le temps  $t_2$  mis par l'onde bleue pour parcourir  $AM_2B$  se calcule à partir du théorème de Pythagore.

On trouve :  $t_2 = (2L/c)/(1-\beta^2)^{1/2}$

**$t_1$  et  $t_2$  sont différents, il devrait y avoir des interférences :  
mais il n'y en a pas !**

**L'hypothèse émise en 1889 (2 ans après l'expérience de Michelson-Morley), par le physicien irlandais Georges FitzGerald\* est que les longueurs mesurées dans le sens du déplacement sont raccourcies d'un facteur  $(1 - \beta^2)^{1/2}$**

**C'est en 1892 que Lorentz écrira le groupe des transformations de coordonnées d'un repère animé d'un mouvement uniforme par rapport à un repère fixe.**

$$x = \alpha(x' - vt) ; y = y' ; z = z' ; t = \alpha(t' - vx/c^2) \text{ avec } \alpha = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

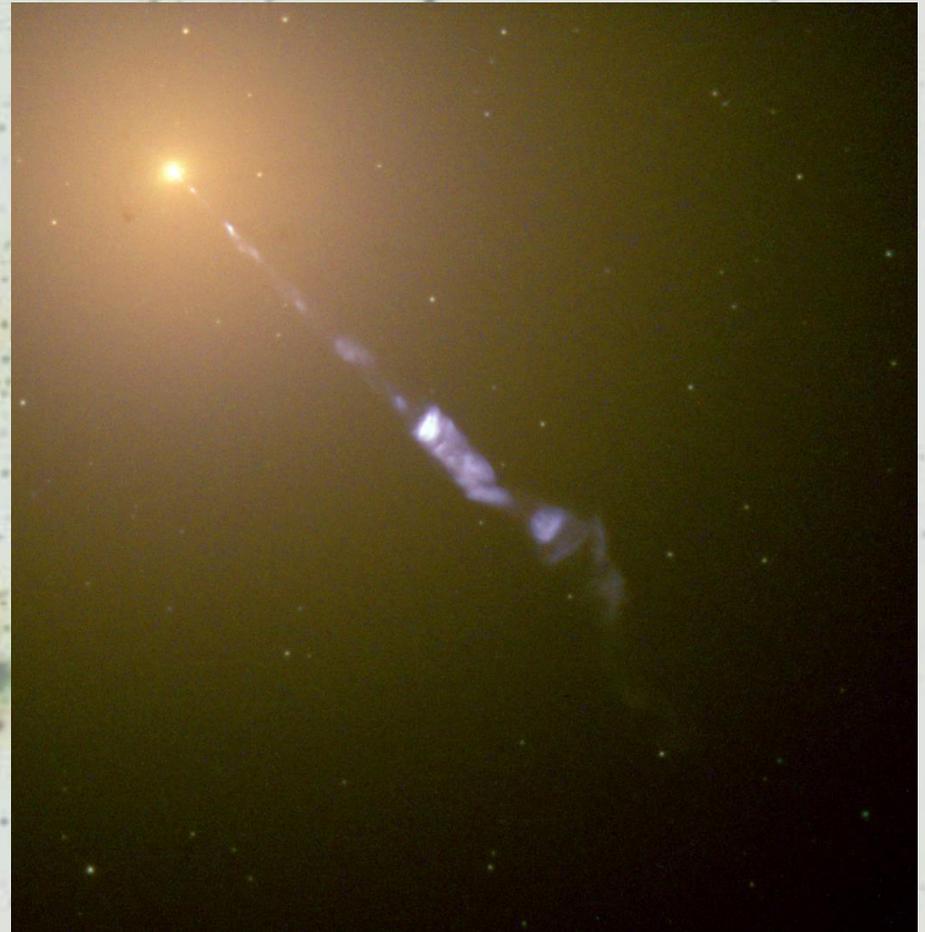
**Ces transformations seront à l'origine de la relativité restreinte.**

\* Voir le livre « La relativité, histoire d'une grande idée » Banesh Hoffmann, Regards sur la science Belin.

**J'ai voulu vous parler de ce qui précède suite à deux faits :**

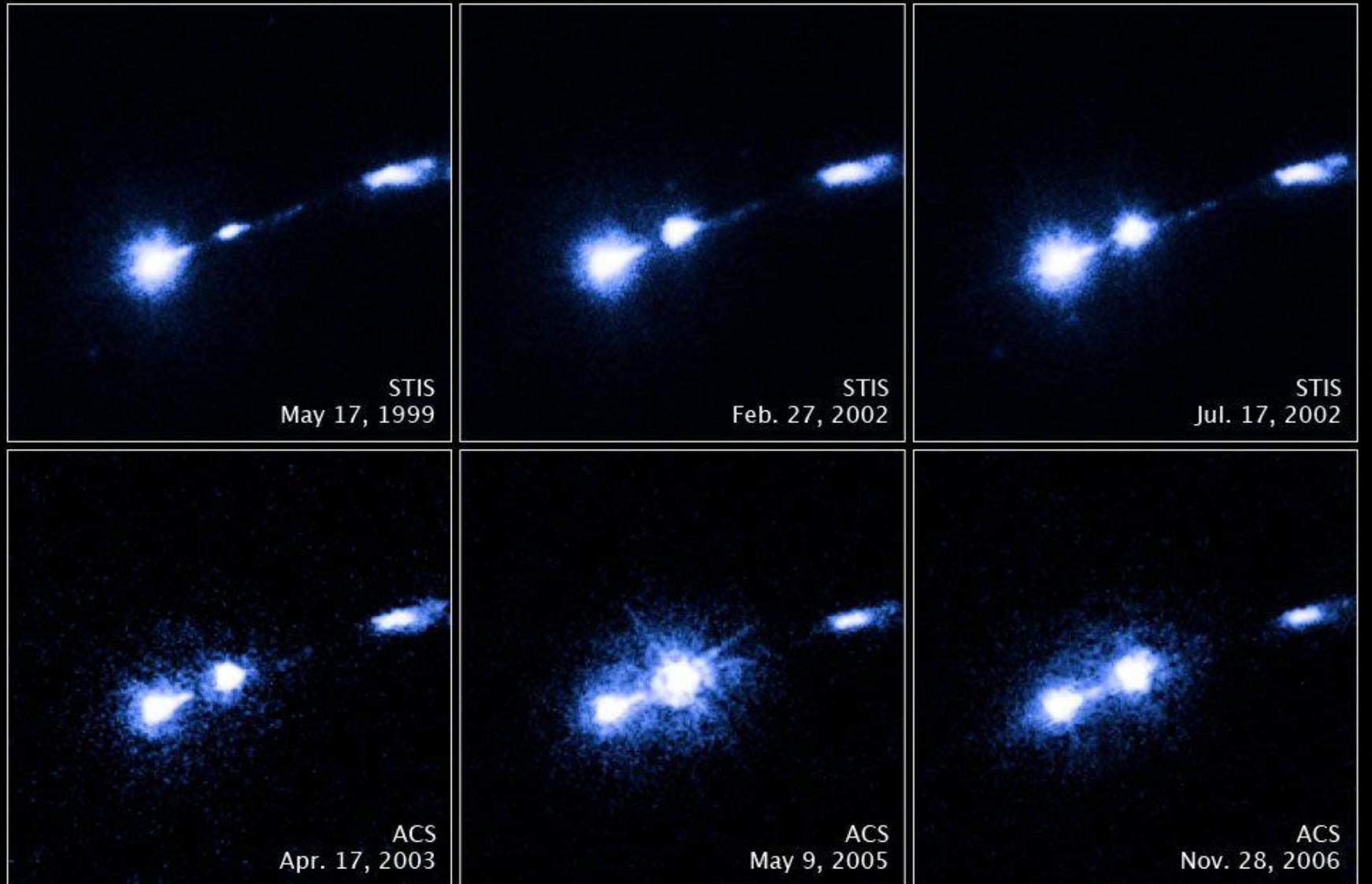
**1) les ondes gravitationnelles. Vous avez vu des images des interféromètres LIGO et VIGO : ce sont des interféromètres de Michelson. Nous en reparlerons plus tard.**

**2) un article de la revue « L'astronomie » revue de la S.A.F. sur les jets de matière émis par la galaxie M87 à six fois la vitesse de la lumière.**



# M87 Nucleus and Bright Knot in Extragalactic Jet

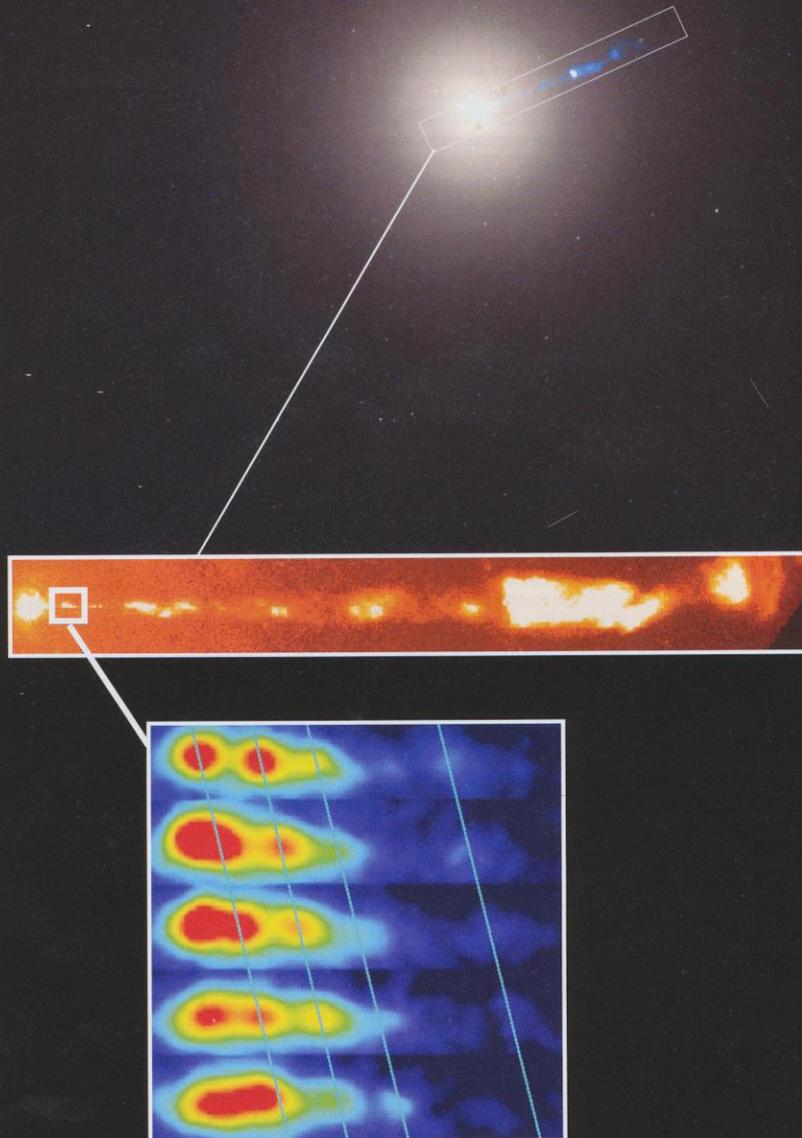
HST • STIS/MAMA • ACS/HRC



NASA, ESA, and J. Madrid (McMaster University)

STScI-PRC09-16

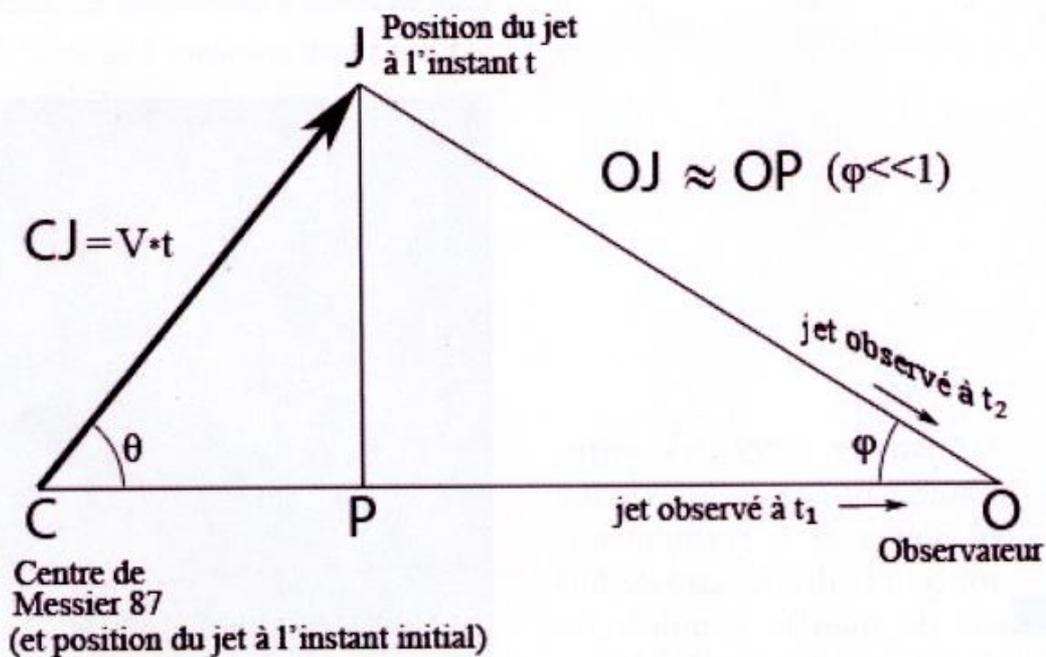
Des images du jet issu du cœur de M87, vues par le HST entre 1999 et 2006



Partie haute : M87 et son jet,

Partie médiane la partie du jet,

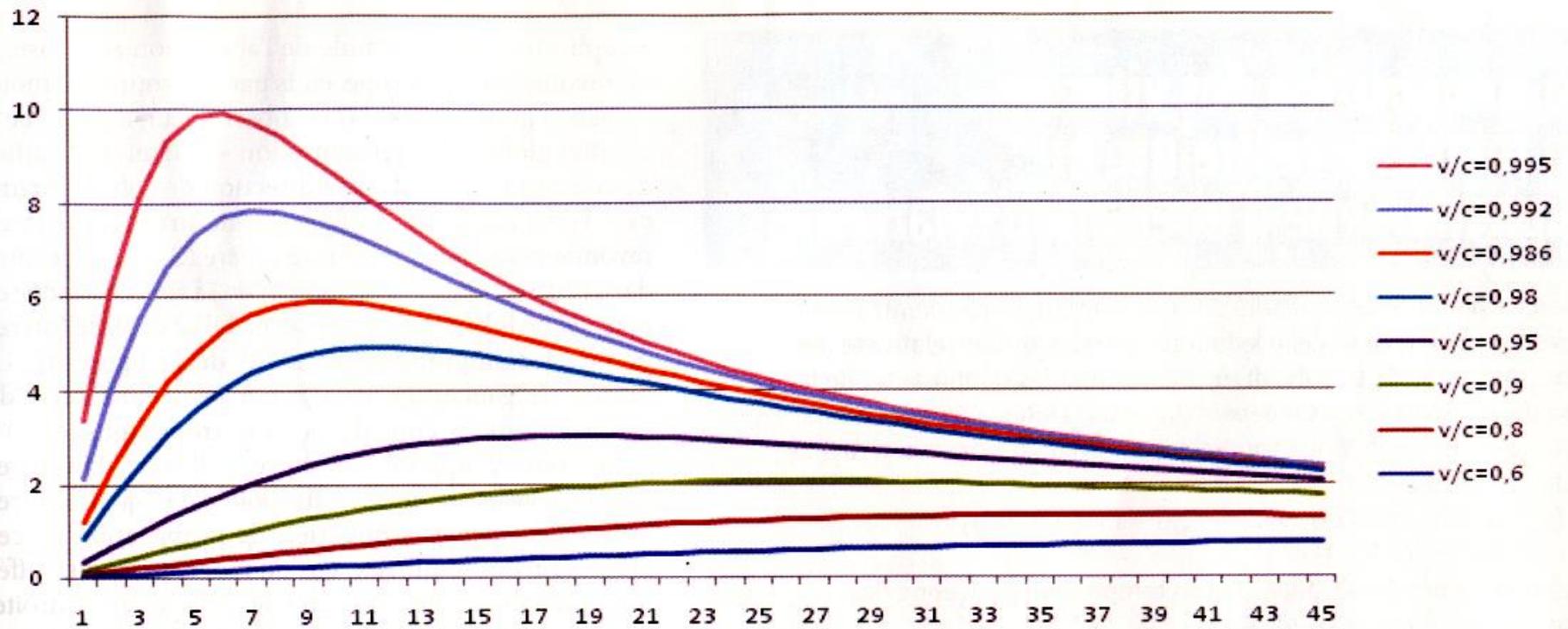
Partie basse : évolution du premier nodule où l'évolution se voit. Sûrement ce type d'image a permis le calcul de la vitesse apparente du déplacement à pour un résultat surprenant **six fois la vitesse de la lumière** ! (les images ont été réalisées entre 1994 et 1998)



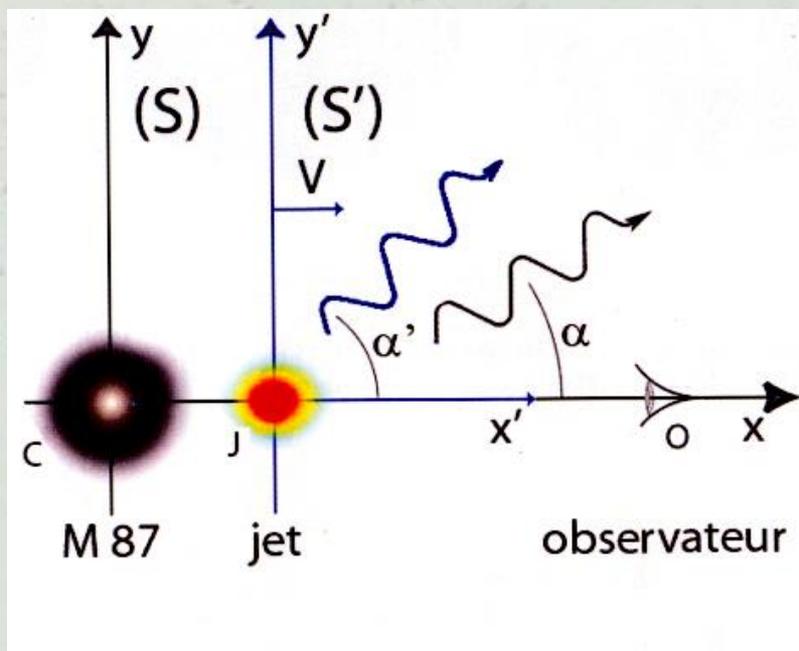
Le schéma ci-contre permet le calcul de la vitesse apparente du jet. Ce calcul est du niveau de la classe de 3<sup>ème</sup> ! Je peux le fournir à la demande.

$$V_{app} \sim V * \sin(\theta) / (1 - \beta \cos(\theta))$$

Cette vitesse dépend de 2 variables : la vitesse réelle et l'angle  $\theta$ , l'angle  $\varphi$  est négligeable !



Les courbes représentent la vitesse apparente en fonction de l'angle  $\theta$ , pour différentes valeurs du rapport  $v/c$ . La vitesse  $6*c$  peut être obtenue de plusieurs façons en particulier pour  $v/c = 0,986$  et un angle  $\theta$  d'environ  $10^\circ$ .



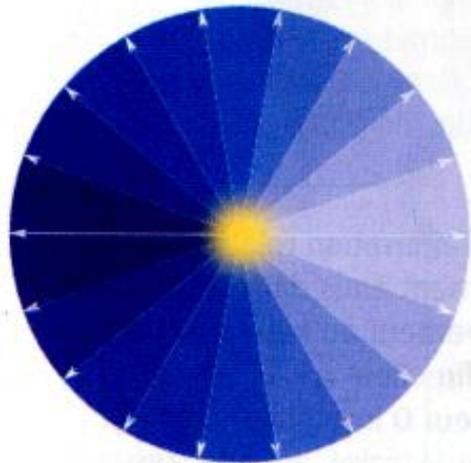
Un autre phénomène est à observer sur ce jet : la luminosité importante. L'explication est relativiste.

On suppose que M87 et l'observateur sont fixes l'un par rapport à l'autre. Le jet émet de la lumière dans tous les sens autour de lui. Un rayon émit dans la direction  $\alpha'$  sera vu dans la

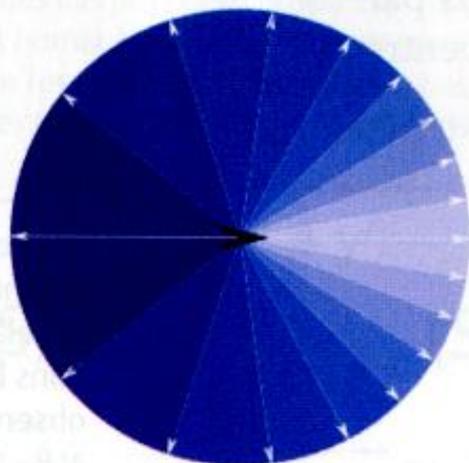
direction  $\alpha$  depuis O. La relation entre ces angles est :

$$\tan(\alpha'/2) = \left[ \frac{1+\beta}{1-\beta} \right]^{1/2} \tan(\alpha/2)$$

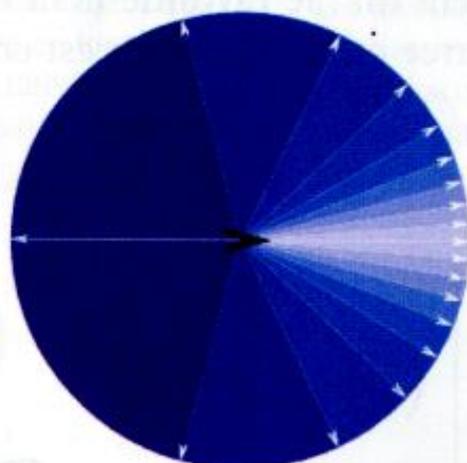
Par exemple si  $\alpha' = 90^\circ$ ,  $\alpha$  vaut  $9,6^\circ$  pour  $\beta=0,986$   
 Il y a concentration de la lumière dans le sens du déplacement c'est l'effet Headlight.



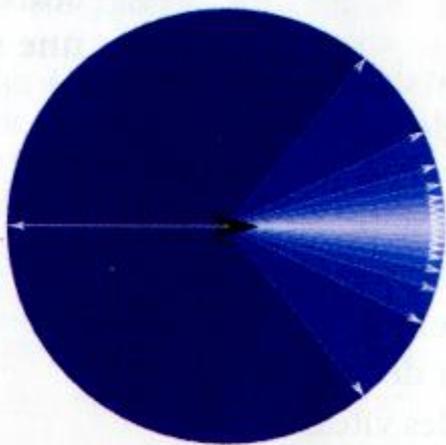
$v/c = 0$



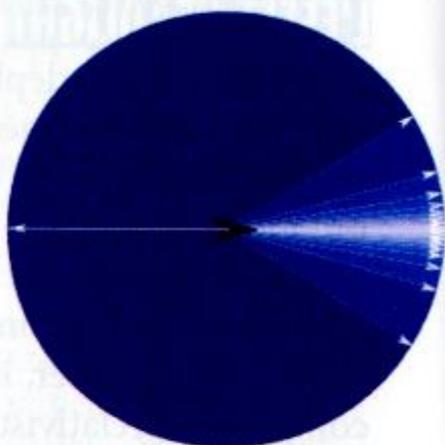
$v/c = 0,6$



$v/c = 0,9$



$v/c = 0,986$



$v/c = 0,995$

**Plus le rapport  $v/c$  est élevé plus la lumière se concentre dans le sens du déplacement !**

***C'est tout (et beaucoup !) pour ce soir. Je vous parlerai des ondes gravitationnelles plus tard... bien plus tard si d'ici là je trouve les documents nécessaires à ne pas dire trop de bêtises !***

***Il y aurait encore à parler de réfraction, de toutes les études sur le son (cordes vibrantes, vibrations sonores...), pourquoi pas des ondes sismiques qui nous tant appris sur la structure interne de la Terre, des ondes internes au Soleil (et les autres étoiles) qui nous apportent tous les jours un peu plus de connaissances sur notre étoile.***

***Mais encore de résonance, d'ondes stationnaires...***

**Quelques sites dont j'ai fait le tour... Il y en a de meilleurs et de pires, je vous les signale sans les avoir entièrement visités.**

<http://coursouverts.ujf-grenoble.fr/joomla/index.php/physique/73-vibrations-et-ondes/133-ondes-stationnaires-et-resonance>

[http://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_en.html)

[http://www.promenades-quantiques.com/journal/lettres\\_2011/lettre\\_11\\_07/11-07-Davisson-Germer.html](http://www.promenades-quantiques.com/journal/lettres_2011/lettre_11_07/11-07-Davisson-Germer.html)

**Sur les diffractions de faisceaux corpusculaires (rayons X)**

[http://gserwar.free.fr/index.php?page=TS\\_partie1](http://gserwar.free.fr/index.php?page=TS_partie1)

**Un site pour animer l'idée d'ondes (lumineuses ou mécaniques)**

**Tout savoir sur les sons**

<http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr/Partie2/P2C1.htm>