

Laser interféromètre

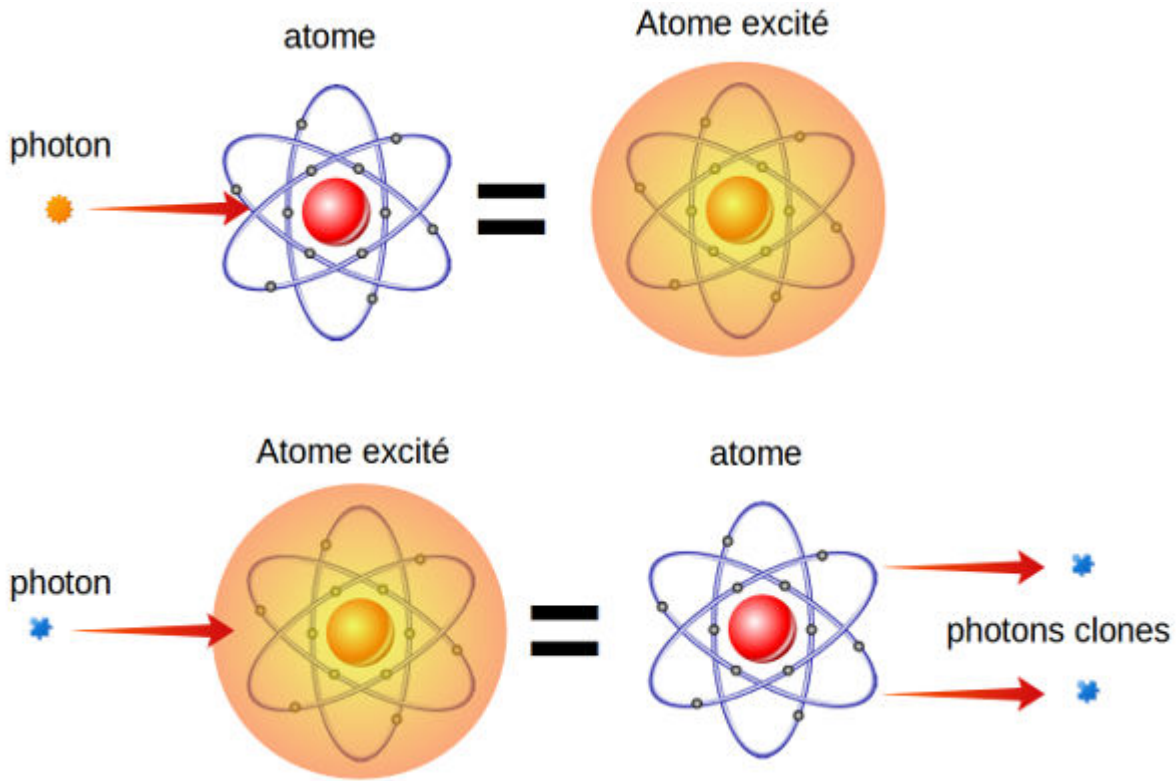
Nous voilà avec deux termes techniques un peu barbare "laser interféromètre". Pour simplifier mon approche, je vous propose d'abord d'appréhender le terme "laser" puis j'aborderais celui d'"interférométrie". Enfin je vous présenterais les termes "laser interféromètre" utilisé dans le domaine de la mesure de longueur de précision.

Laser

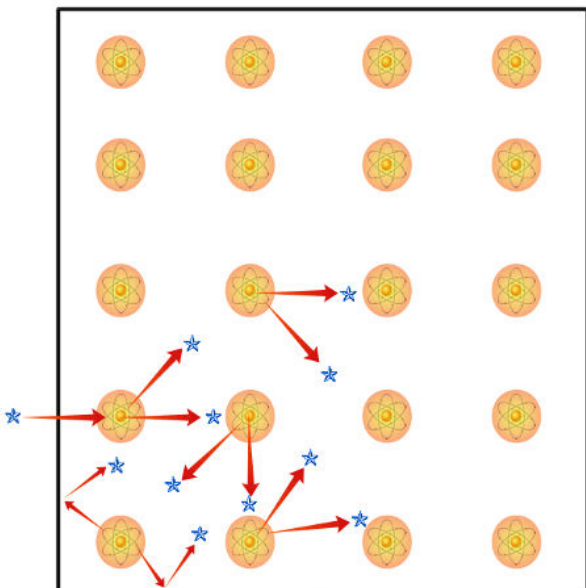
Je ne ferais qu'un petit tour d'horizon sur le laser, vous avez énormément de sites internet qui proposent d'excellentes vulgarisations.

L(light) A(amplification) S(by stimulated) E(emission) R(of radiation), voilà pour l'acronyme!

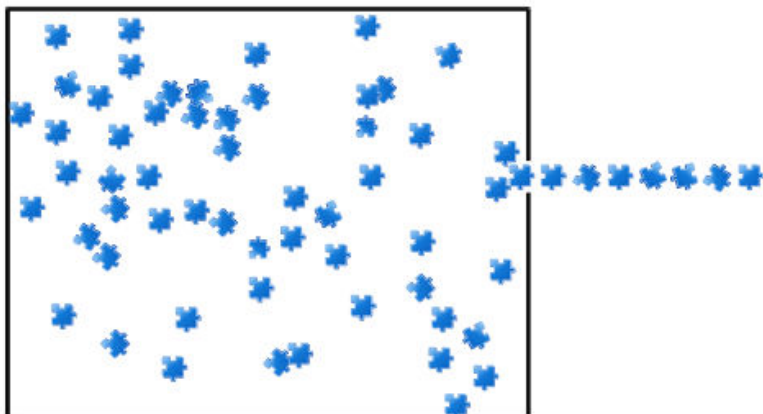
Si vous vous souvenez que la [matière](#) est constituée d'[atomes](#), probablement vous saurez que ces atomes peuvent emmagasiner de l'énergie. L'absorption d'un photon correspond à cette augmentation d'énergie, on parle alors d'atome excité. Maintenant si un autre photon quelconque vient à être absorbé (augmente l'énergie de l'atome excité, celui qui a déjà absorbé un photon), il y a trop d'énergie pour l'atome ! Donc il ré-émet les deux photons absorbés, mais ces deux photons sont devenus des clones (ils sont parfaitement identiques), l'atome est une machine à clones !! Ce "clonage" a été prédit par Einstein autour 1917 en parlant de l'[émission stimulée](#).



Imaginons maintenant que nous avons de la matière qui absorbe des photons et que les atomes de cette matière deviennent excités. Si on envoie un photon rencontrer un atome excité, ce dernier émettra deux photons clones qui rencontreront deux autres atomes excités qui émettront chacun deux photons clones et ainsi de suite, nous obtiendrons, avec les millions de millions d'atomes d'un bloc de matière, une émission de photon tous semblables.



Pour obtenir un faisceau de photon, il suffit maintenant de les laisser sortir de la matière par un petit trou !



C'est un faisceau laser, tous les photons émis sont identiques (des clones). Ceci signifie que ces photons auront la même longueur d'onde et seront en phase.

Un laser est un appareil qui émet un faisceau lumineux, avec des photons de même longueur d'onde (définit la "couleur", voir le [panel actuel possible](#)), de même phase (la polarité) et en plus ce faisceau est unidirectionnel et très légèrement divergent (taille du rayon, exemple laser avec un diamètre de sortie 1mm on aura un diamètre d'environ 1.5m 10km plus loin)

Quelques propositions sur "youtube" :

- L'émission "[c'est pas sorcier](#)" (25 min)
- Courte mais vraiment très bien fait : "[tout est quantique](#)" (1.15 min)
- Le [laser](#) selon Catherine Pain (3.47 min)
- Les [applications du laser](#) (1h06)

Interférométrie

Pour comprendre le terme interférométrie, il est nécessaire de connaître ce qu'est une onde. Vous avez tous déjà "toucher" une onde comme des ronds dans l'eau, vous entendez de la musique qui est (sont) de(s) onde(s) sonore(s).

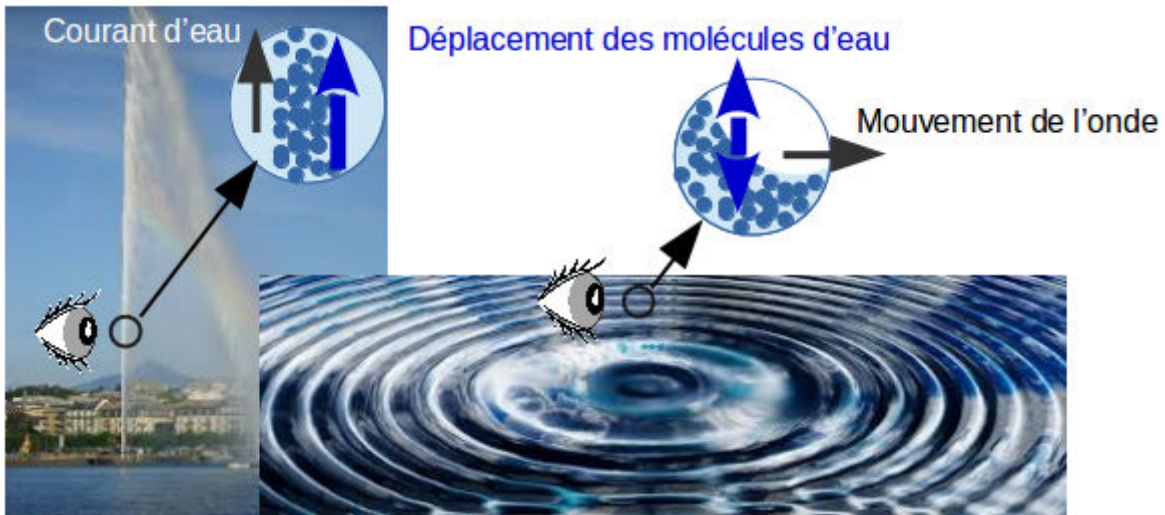


<https://michel.re/wp-content/uploads/2016/12/Grandioso1.mp3>

LES ONDES :

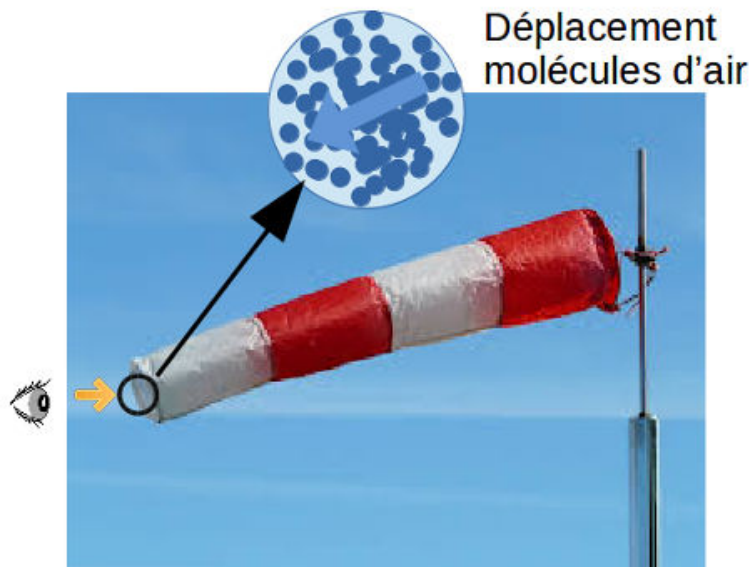
- *pour la vision c'est par exemple des vagues*
- *pour l'audition c'est par exemple un son*

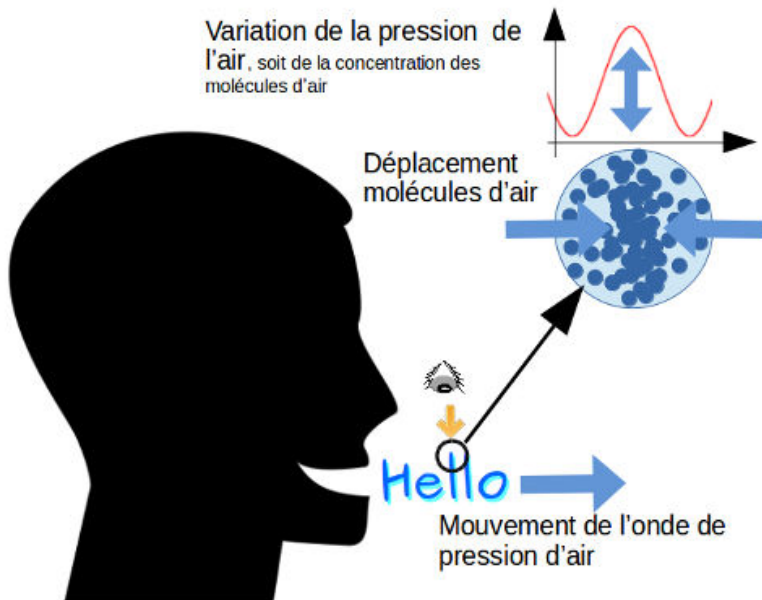
Pour encore mieux concrétiser la chose, prenons deux exemples. Premier exemple, d'abord la différence entre un courant d'eau et une vague. Le courant d'eau c'est le déplacement des molécules d'eau qui crée le mouvement (déplacement et mouvement sont parallèles), tandis qu'une vague c'est la variation du déplacement vertical des molécules d'eau qui crée le mouvement perpendiculaire de l'onde. Et hop un petit schéma pour clarifier cela :



Oui, c'est vrai ! Comme exemple de courant d'eau je pouvais prendre plus classiquement une rivière, mais bon quand on aime, on ne compte pas ! 😊

Deuxième exemple: le vent et la parole. Le vent est un déplacement des molécules d'air, la parole est la variation de la pression de l'air (concentration des molécules).



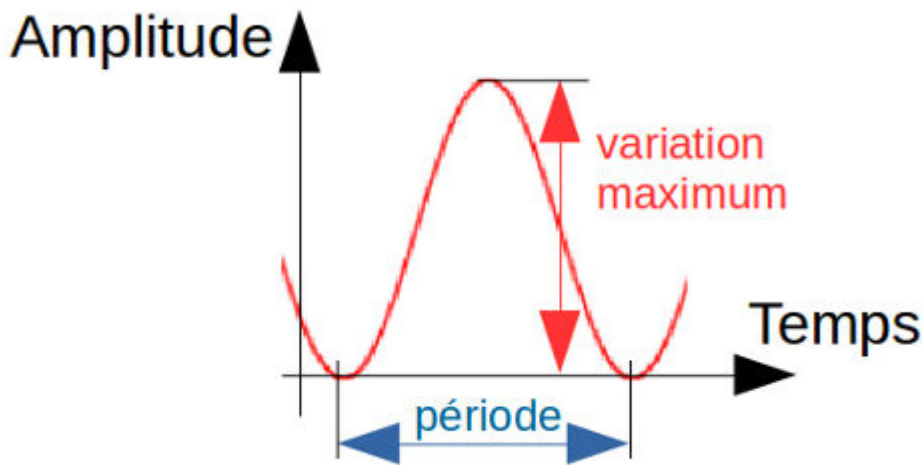


Définition d'une onde

Rapidement : *“c'est une variation temporaire et locale d'un milieu qui se déplace de proche en proche”*, ou plus scientifique et élaboré sur [Wikipedia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Onde). Ou encore ce petit exposé vraiment réussi sur Youtube :

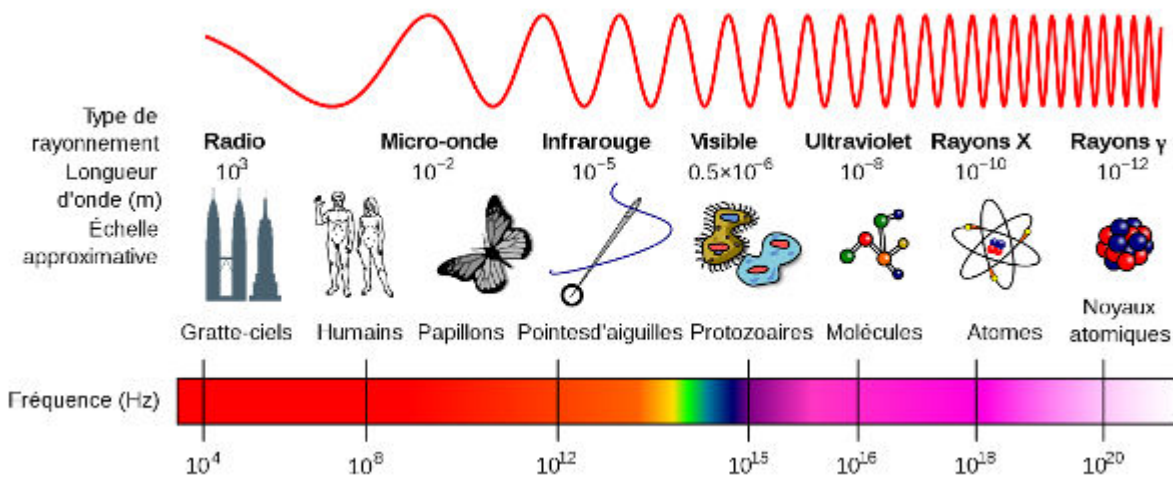
Une onde est définie :

- par son support (pression air \Rightarrow onde sonore, niveau d'eau \Rightarrow vague, variation de champs électromagnétiques \Rightarrow ondes électromagnétique, etc.).
- par son amplitude (grandeur de la variation).
- par la vitesse de la variation (longueur d'onde ou fréquence).



ONDES LUMINEUSES

Comme nous nous intéressons aux lasers interféromètres, nous allons nous concentrer sur les ondes électromagnétiques et plus particulièrement les ondes lumineuses. La variation de champs électriques et de champs magnétiques forment les ondes électromagnétiques. Afin d'être parfaitement clair, je vous rappelle que les ondes lumineuses, les rayons X, les rayons Gamma, les ondes radio, les ondes des mobiles, les ondes Wi-Fi, etc sont toutes des ondes électromagnétiques la seule différence est leur longueur d'onde.



Les ondes lumineuses ce sont celles que notre capteur humain (oeil) peut détecter. Nos yeux sont capables de réagir aux ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est située entre 400 et 750 nm. Ces ondes électromagnétiques sont appelées communément ondes lumineuses.

Certains lasers produisent des ondes lumineuses dites "invisibles", ce qui est un abus de langage car si c'est invisible ce n'est pas une onde lumineuse. Bien sûr comme toujours, les choses ne sont aussi "parfaitement réglées". Nos yeux détectent des longueurs d'ondes inférieures aux infrarouges mais sans transmettre ces informations au cerveau, donc on les détecte mais on ne le sait pas. Certain animaux détectent mal les couleurs par exemple le chat, son spectre visible n'est interprété qu'en tons verts, bleus et plutôt pastel. Les abeilles c'est l'ultraviolet, le bleu et le jaune !

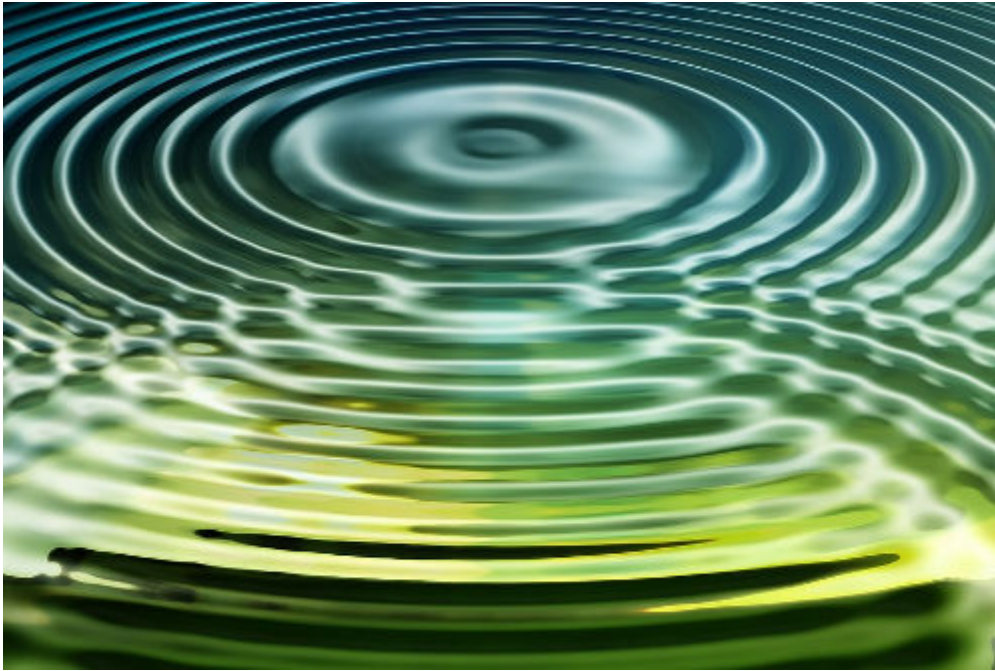
LE LIEN ENTRE ONDE ET FAISCEAU DE PHOTONS

C'est simple lorsque l'on parle d'onde sonore (onde de pression) le vecteur, le messenger c'est la molécule d'air. Dans le cas des vagues, c'est la molécule d'eau le support de l'onde (la vague). Pour les ondes électromagnétiques, c'est le photon. Un faisceau de photons, c'est une onde électromagnétique, et si notre oeil est capable de voir ce faisceau, c'est une onde lumineuse.

Les ondes électromagnétiques se comportent parfois comme un faisceau de petites particules, d'autre fois comme une onde. Je n'entre pas dans le détail de la chose qui sort du cadre de cet article, mais pour ceux qui s'intéressent à la chose, faites une recherche sur la [dualité onde-corpuscule](#) sur internet.

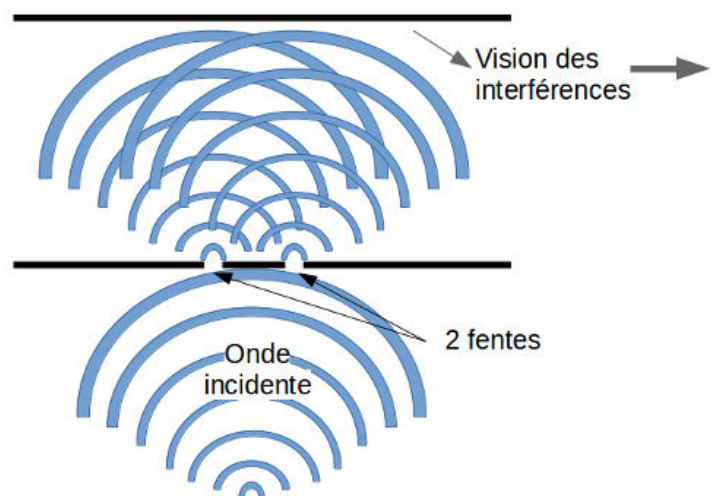
EXPÉRIENCE DE YOUNG ET NATURE ONDULATOIRE

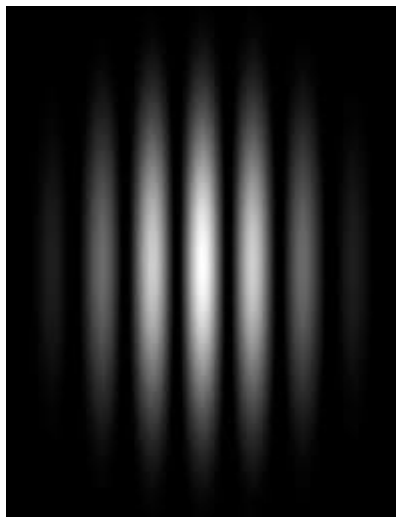
Nous voilà prêts pour aborder la notion d'interférométrie. Comme son nom le suggère, c'est la science s'occupant d'interférence, c'est-à-dire de mélange. Observons une vague (une onde) qui se déplace, il y a des creux et des bosses. Maintenant imaginons que nous avons deux vagues qui se déplacent l'une vers l'autre, par exemple deux ronds dans l'eau.



Ce que l'on remarque c'est qu'à la rencontre des deux vagues il y a des combinaisons des vagues, en fait la zone de rencontre c'est l'addition des deux vagues. En résumé l'addition des vagues montre un motif (une vague) différent des deux vagues initiales. Les vagues interfèrent pour générer une nouvelle vague, c'est de l'interférométrie. Les ondes de même nature (comme des vagues par exemple) interfèrent entre elles et donnent naissance à des motifs, des ondes d'interférométriques.

Pour illustrer ceci voici le schéma de la très célèbre [expérience des fentes de Young \(vidéo 4'50 \)](#)



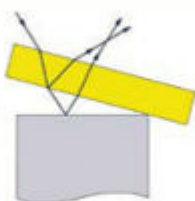


On appelle le motif résultant : *franges d'interférences*.

Exemple d'utilisation des franges d'interférences en métrologie :

Verres d'interférence plans TESA

Pour le contrôle de la planéité des cales étalons, entre autres. Les verres plans sont livrés en étui avec déclaration de conformité.



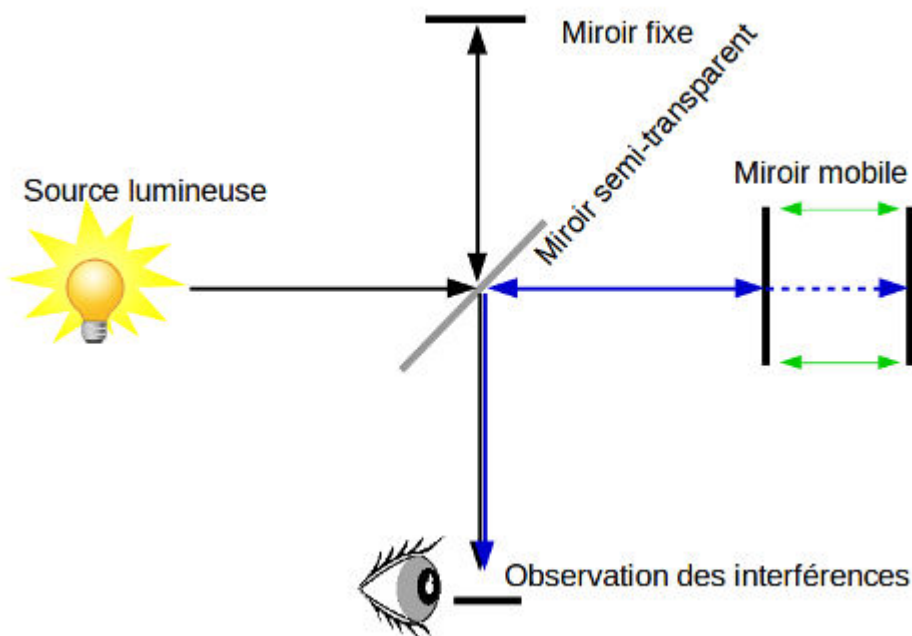
Réf.	Diamètre mm	Épaisseur mm	Dév. de planéité/ μm	Prix EUR
780.386	50	15	0,125	349,00
780.387	75	20	0,125	658,00

MICHELSON, L'INTERFÉROMÉTRIE EN DIVISION D'AMPLITUDE

Maintenant comment utiliser ces phénomènes pour mesurer des longueurs par exemple. Avec son interféromètre, Albert Michelson (1880) nous montre la voie et avec Edward Morley, ils l'ont appliqué à la mesure très précise de distance et aussi à la mesure de la vitesse de la lumière. Pour l'anecdote, lors de la mesure de la vitesse de la lumière (avant 1890), ils ne parvinrent pas à montrer que cette vitesse était différente selon les directions

à cause du mouvement de la terre, il fut conclu que l'expérience fût un échec. C'est plus tard que l'on comprit que la vitesse de la lumière est un invariant, ils l'avaient prouvé avant l'heure !

Le principe est en fait assez simple :



Les franges d'interférences observées sur le plan de réception provient de la différence de distance que la lumière parcourt selon la longueur du chemin noir ou bleu. Dans le cas d'un faisceau laser on remarque que l'espacement des franges est la moitié de la longueur d'onde du laser. De plus, lors d'un déplacement du miroir mobile, les franges se déplacent également, il suffit donc de les compter pour en déduire le déplacement du miroir.

[Petite vidéo](#) sur l'application à la biologie du laser interféromètre.

Laser interféromètre et mesure

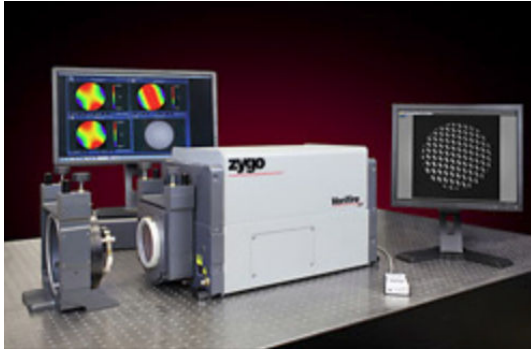
Comme vous l'avez compris maintenant le laser interféromètre est un appareil qui combine des ondes lumineuses (ou hors visible) et qui analyse le motif de la combinaison de ces ondes cohérentes (même longueur d'onde, même polarisation). Voici un exemple d'appareil et quelques vues d'une mesure de déplacement d'une coulisse (axe) d'une machine industrielle. Le but est de savoir lorsque l'on demande un déplacement d'un

millimètre à la machine, est-ce que son déplacement est vraiment d'un millimètre. J'ai réalisé ces mesures avec Michel, la machine est une SIP, les spécialistes apprécieront les résultats.

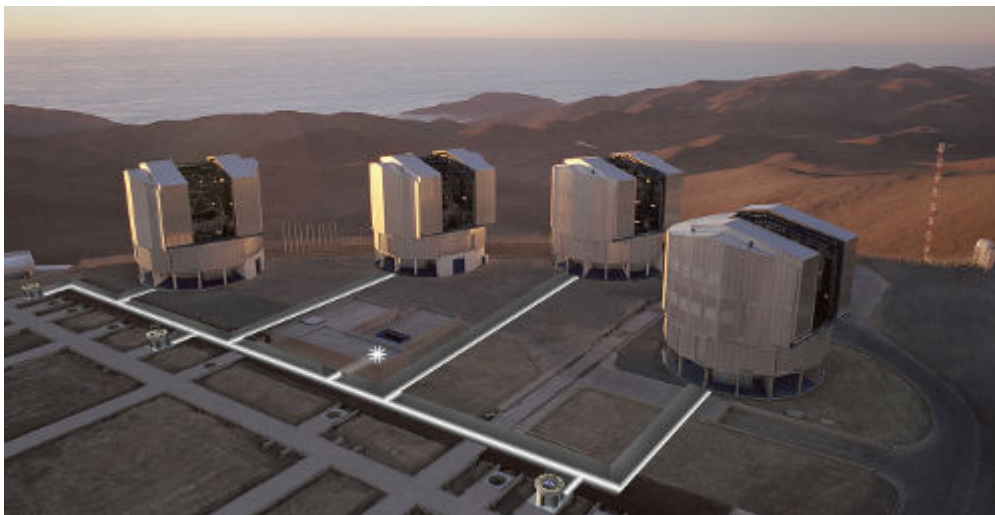


Résultats des mesures : en recherche :-), je parlais de quelques jours je ne les retrouve pas, c'est dommage car ils étaient excellents, cette machine est remarquable ! Merci de votre patience peut-être en mars 2017, quand j'aurais accès à mes "archives". Non, je crois que c'est définitivement perdu.

Quelques appareils du commerce (liste au hasard) : [Keysight](#) (anciennement Agilent, HP), [Zygo](#), [Renishaw](#), [Feanor](#), [Trioptics](#), etc..



Installations pour la mesure de distances astronomiques, toujours avec le principe des interférences :



[VLT](#) (Very Large Telescope), [Chara](#), etc...

Conclusion

Le laser peut-être utilisé et est utilisé de beaucoup de manières. Dans de nombreux cas, c'est le seul instrument utilisable possible, le laser est devenu incontournable de nos jours. Dans la mesure de longueur (mécanique, chantier, etc), le laser interféromètre est même l'instrument de référence.