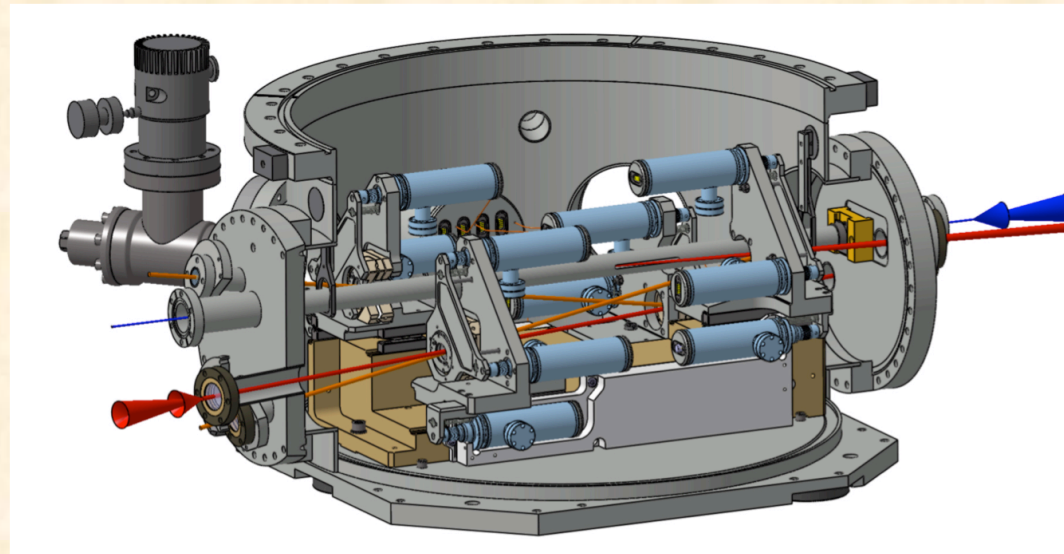


# Introduction aux LASERs

## III. Utilisation



Nicolas Delerue

LAL (CNRS) and Université de Paris-Sud

# Rappel

- Dans un milieu amplificateur suffisamment pompé, une émission spontanée peut entraîner la formation d'un faisceau laser par émission stimulée.
- Les paramètres de la cavité (milieu amplificateur, géométrie, puissance de pompe, ...) déterminent la qualité du faisceau laser sortant.
- Il est possible de manipuler les impulsions laser, pour changer leur longueur d'onde ou leur durée.

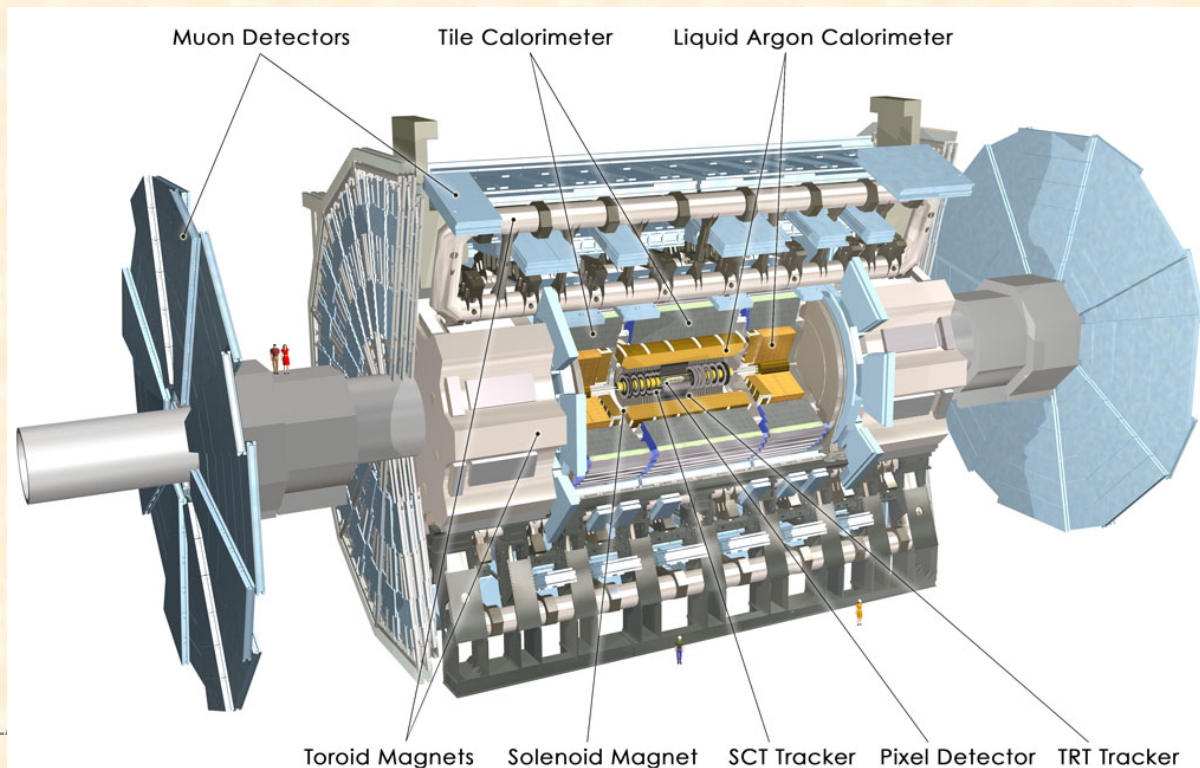
# Notions de ce cours

- (lasers de puissance)
- (CPA)
- Sécurité avec un faisceau laser
- Propagation d'un faisceau laser
- Interféromètres
- Lasers à fibres
- Cavités Fabry-Pérot
- Laser à électron libre
- Coût de différents lasers
- Applications diverses

# Application:

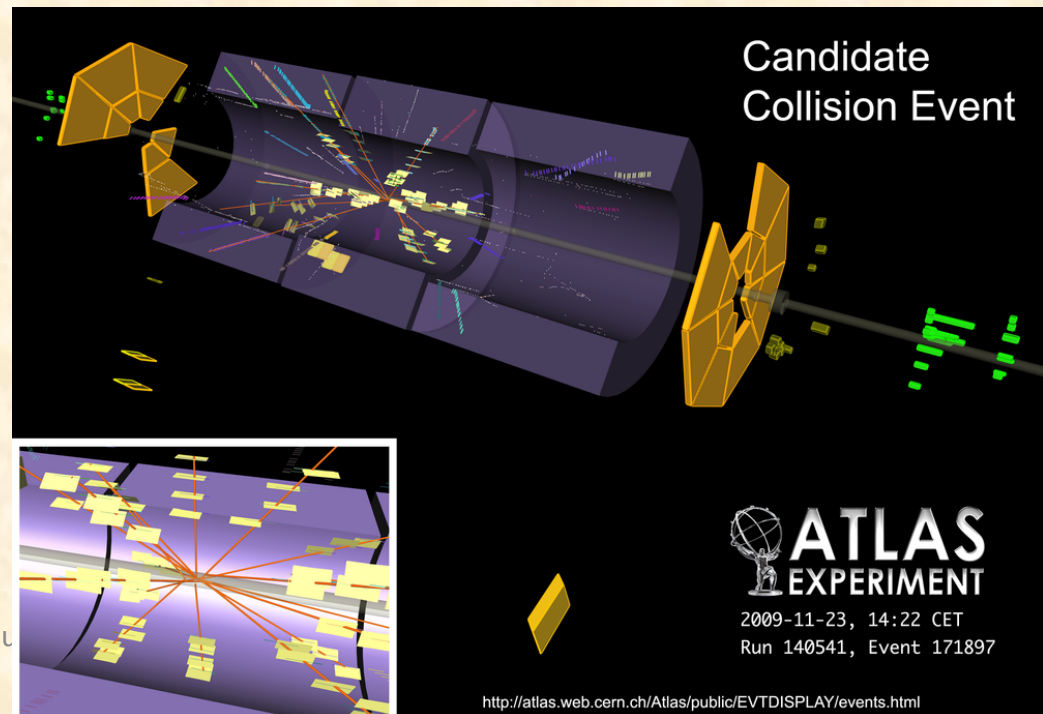
## Alignement du détecteur de vertex en Silicium d'ATLAS

- ATLAS est l'une des principales expériences installées sur le LHC.
- Au cœur de l'expérience se trouve le détecteur de vertex en Silicium (SCT).



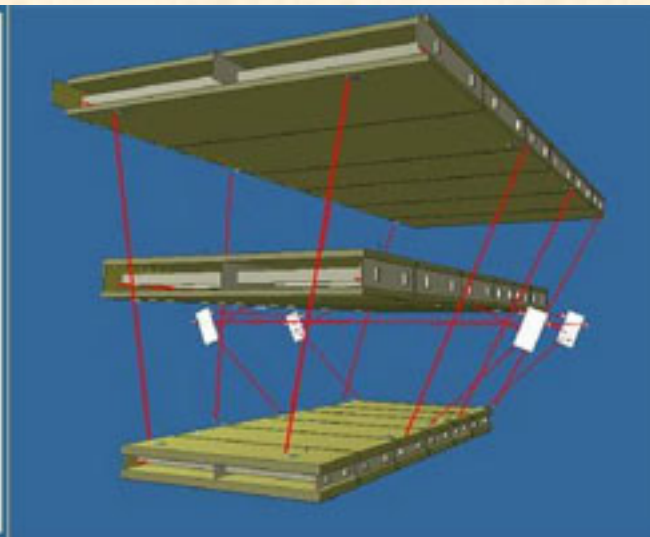
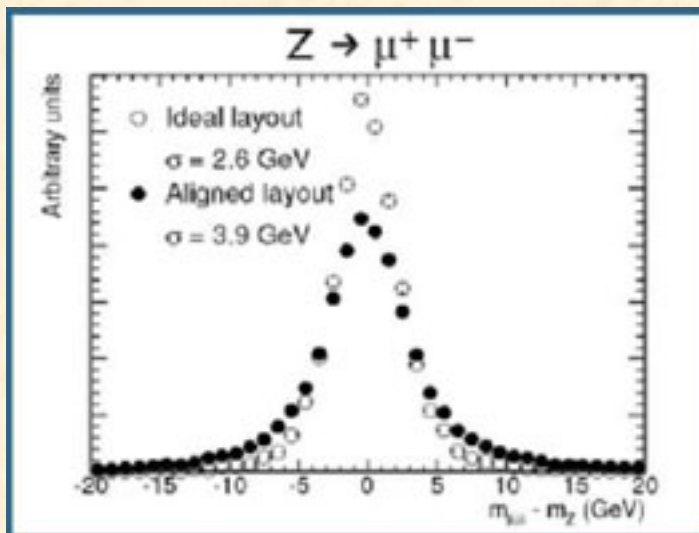
# Application: ATLAS SCT (2)

- Le SCT permet de reconstituer avec précision l'origine des particules.
- Plus le SCT est précis, plus il est facile de savoir exactement d'où les particules proviennent et de savoir par exemple la distance qu'une particule a voyagé avant de se désintégrer.
- Au TeVatron ce genre d'information a été cruciale pour découvrir le quark top...



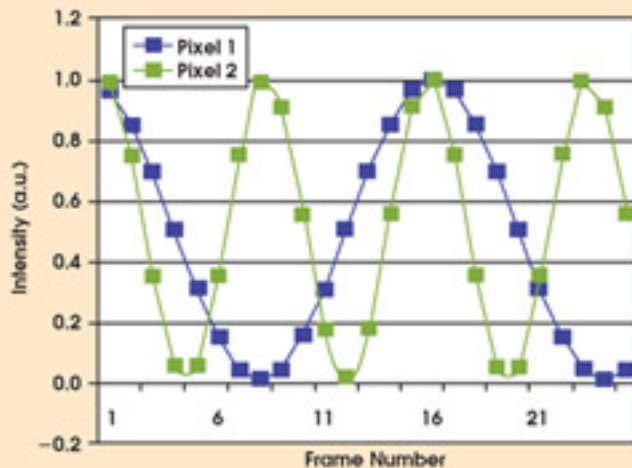
# Application: ATLAS SCT (3)

- Pour obtenir la meilleure résolution possible grâce au SCT, il faut en permanence mesurer la position de chacun de ses éléments avec une précision de quelques micromètres.
- Cela se fait en utilisant un réseau de faisceaux laser et une technique appelée « frequency scanning interferometry » (FSI).



# Application: ATLAS SCT (4)

- En FSI, la longueur d'onde d'un laser à Erbium est modulée.
- Le faisceau de ce laser est envoyé jusqu'à un miroir placé sur une cible.
- Le signal reçu va être plus intense selon que la distance de la source à la cible est un nombre entier de longueurs d'onde ou pas
- Cette information permet de reconstruire la distance entre la source et la cible.

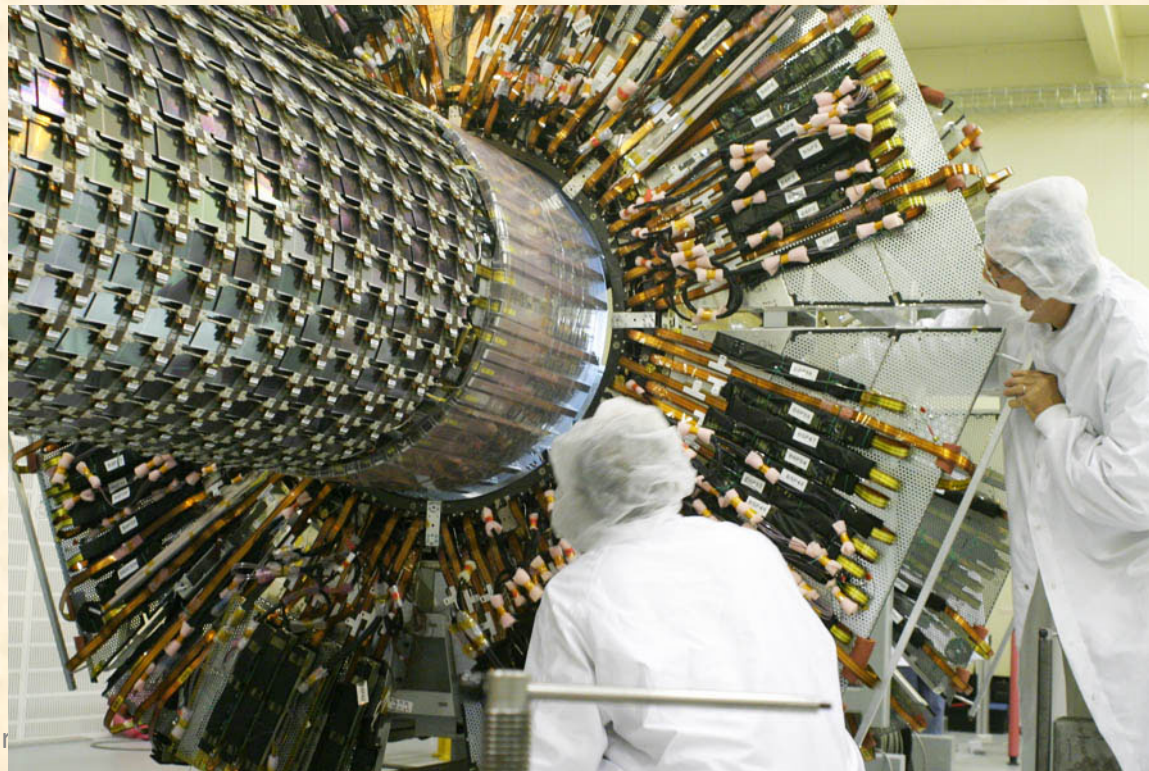


$$D = k_1 \lambda_1 = k_3 \lambda_3 = k_7 \lambda_7$$

le du détecteur à la mesure 2011:  
LASERS

# Application: ATLAS SCT (5)

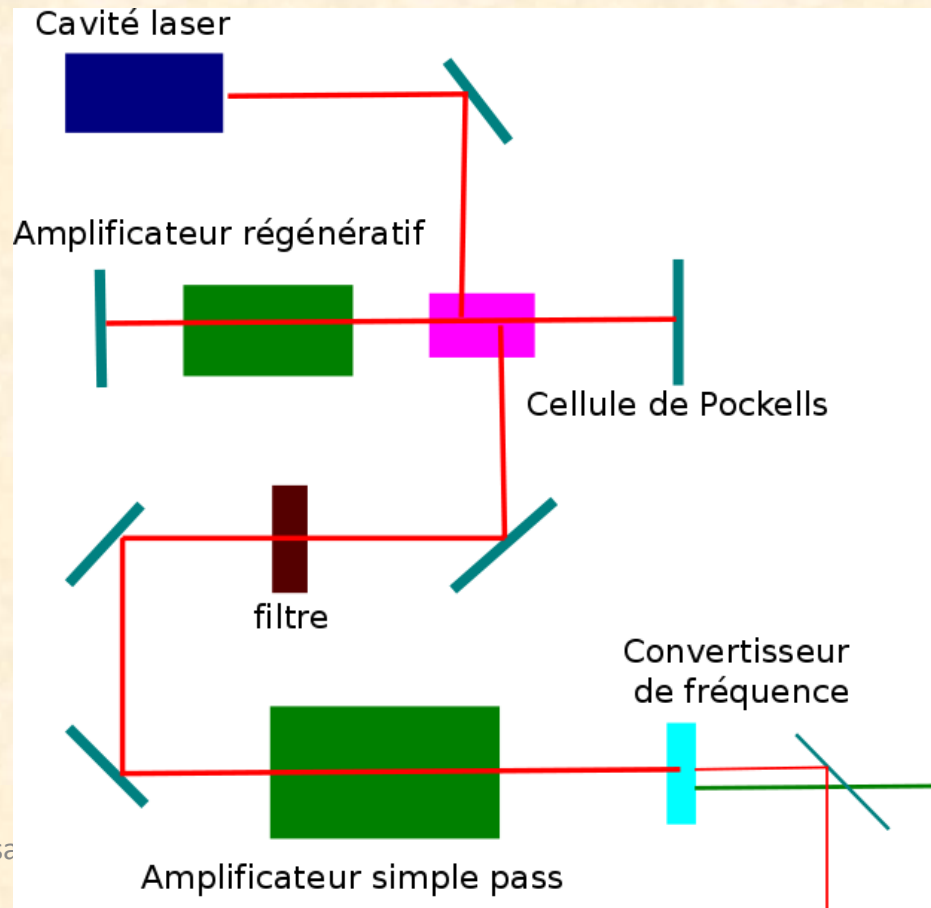
- Grâce aux informations obtenues par FSI il est possible de reconstruire en permanence la position des différents éléments d'un détecteur complexe comme le SCT et donc d'améliorer la précision avec laquelle les particules sont mesurées.



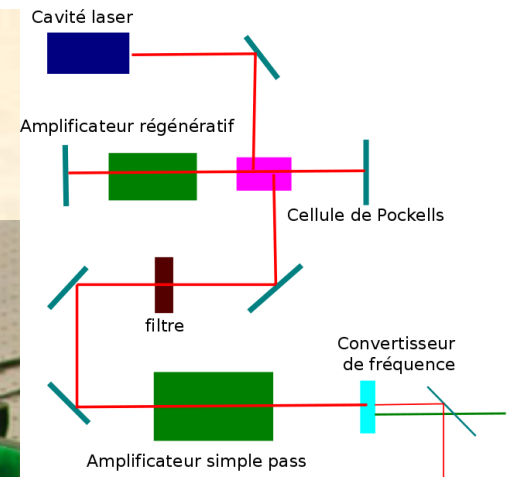


# lasers de puissance: Amplificateurs régénératifs et chaîne d'amplification

- Pour atteindre des puissance importantes il faut parfois plusieurs étages d'amplification.

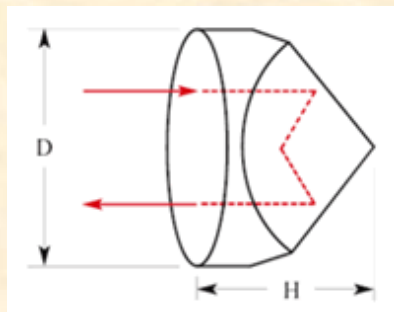
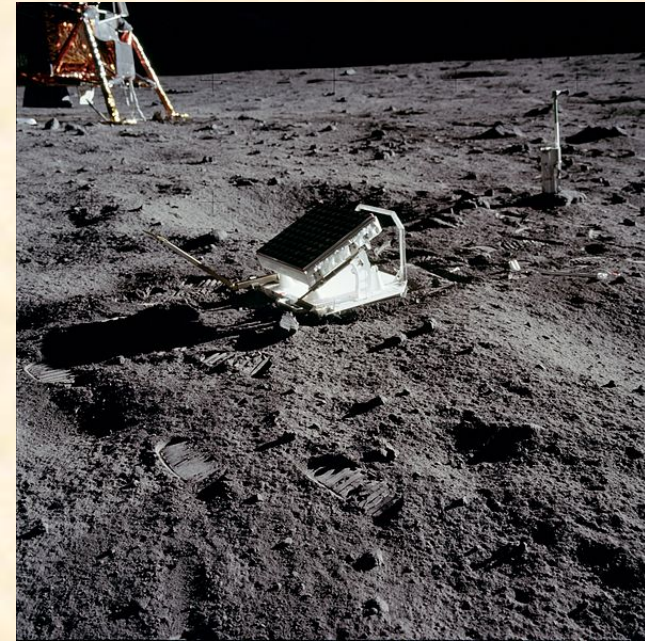


# Vue d'un laser de puissance



# Application: Distance terre-lune

- Un laser de puissance est utilisé pour mesurer régulièrement la distance de la terre à la lune!
- Lors des missions Apollo des « rétro-rélecteurs » ont été déposés sur la lune.
- En tirant sur ces retro-rélecteurs avec un laser il est possible de mesurer le temps qu'il faut à la lumière pour faire un aller-retour et donc la distance terre-lune.



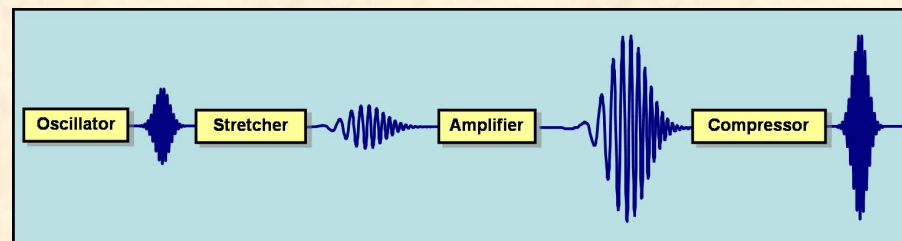
Nicolas Delerue, LAL Orsay

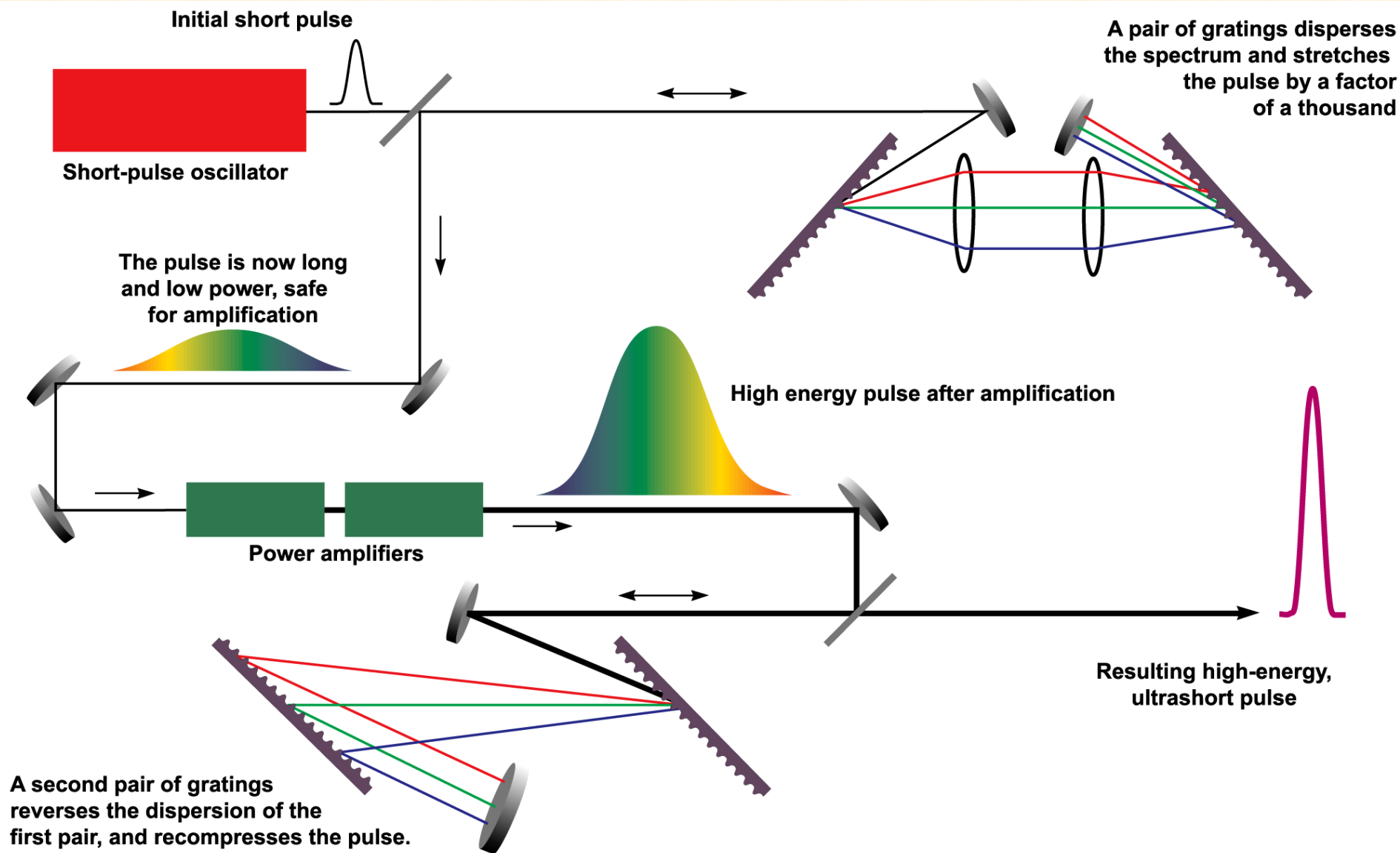
Ecole du détecteur à la m  
LASERS



# Vers des puissances encore plus hautes: CPA

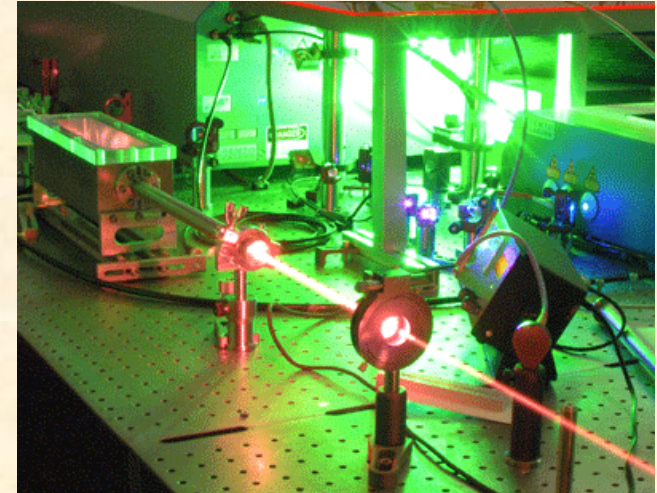
- La puissance atteinte par les lasers est limitée par le seuil de puissance auquel le milieu amplificateur s'abîme.
- Il est possible d'amplifier des faisceaux très larges spatialement mais cela limite la qualité du faisceau final.
- Un autre méthode a été proposé: le faisceau est étendu temporellement, amplifié puis compressé.
- Cette méthode s'appelle « Chirped Pulse Amplification » (CPA) est elle est couramment utilisée pour atteindre des puissance élevées.





# Exemple: Laser Ti:Saphire

- Les lasers de saphir dopé au titane ( $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ ) sont les lasers de puissance les plus populaires.
- C'est un laser à 4 niveaux.
- Le titane possède une bande amplificatrice très large (650nm à 1100nm) ce qui permet de produire des impulsions très courtes (produit temps-largeur spectrale) et donc de très haute puissance (jusqu'au Petawatt,  $10^{15}$  W).
- Cette large bande permet aussi de fabriquer des lasers dont la longueur d'onde est ajustable.
- Les cristaux de Ti:Saphire doivent être pompés dans le vert avec une pompe très intense  
=> pas de diode laser disponible  
=> Les lasers Ti:Saphire sont souvent pompés par un autre laser, par exemple un Nd:YAG dont la fréquence a été doublée!

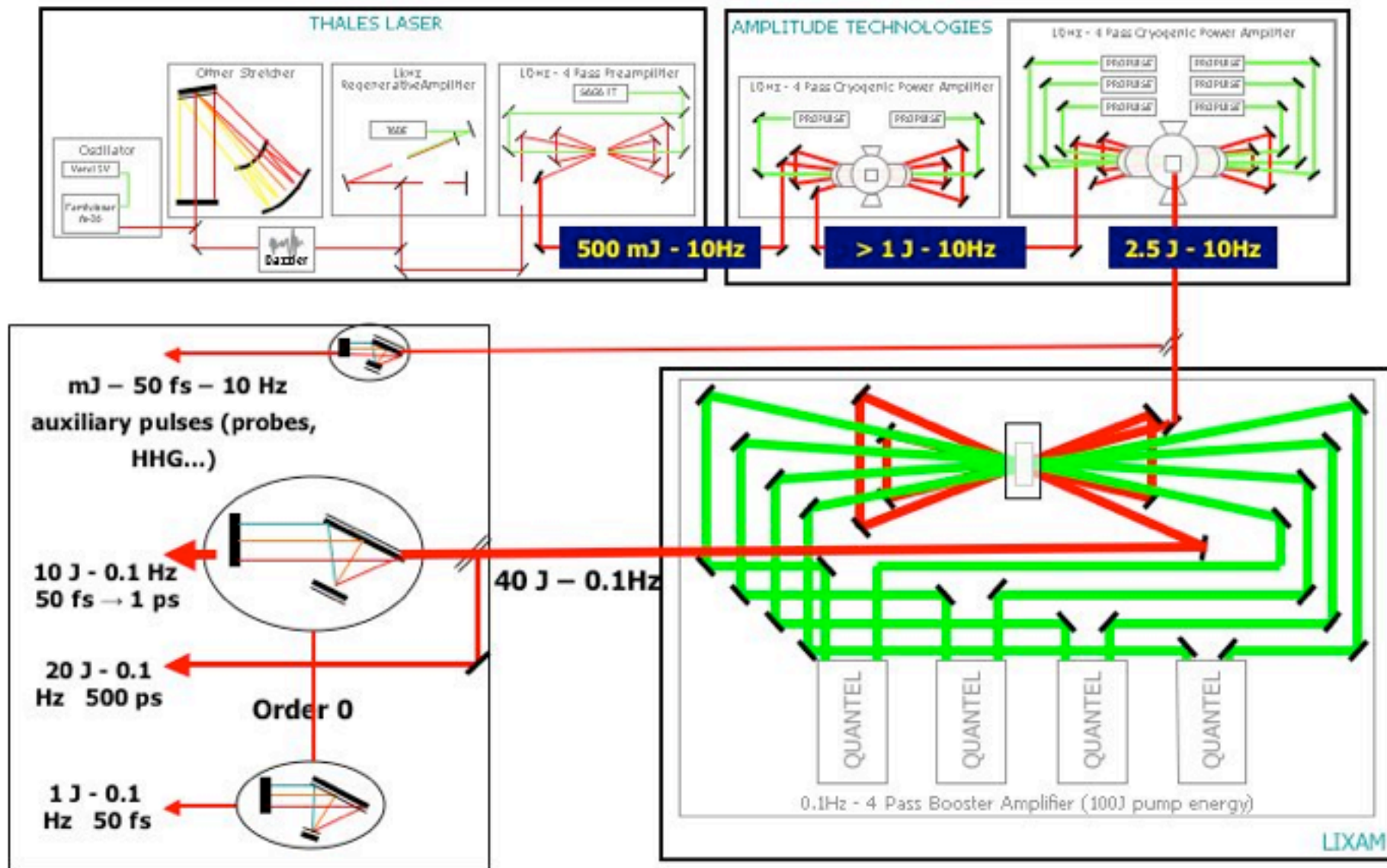


<http://www.elsa-laser.u-psud.fr>



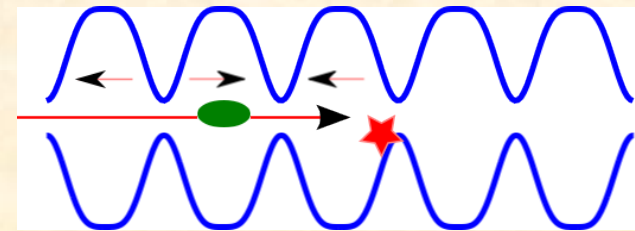
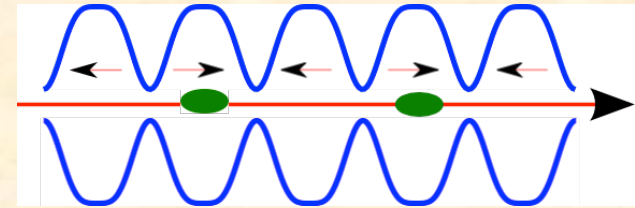
Ti:Sa crystal of the high-energy amplifier (Crystal Systems, Salem)

# Un exemple de laser Petawatt: LaserIX



# Application: Accélération par champs de sillage laser dans un plasma

- Les techniques actuelles d'accélération de particules sont limitées: des gradients trop intenses entraînent des ruptures dans la cavité accélératrice.
- L'une des solutions à l'étude est de remplacer la cavité accélératrice par un plasma.
- L'accélération se fait alors par un champ de sillage dans le plasma.



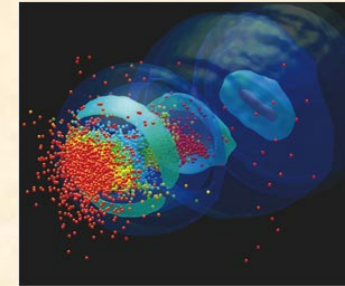
Exemple de champ de sillage

Source: <http://www.arwenmarine.com>



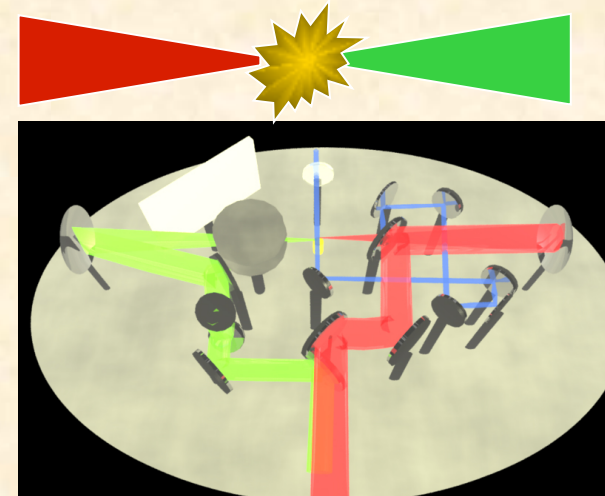
# Application: Accélération par champs de sillage laser dans un plasma (2)

- Un laser intense peut créer un champ de sillage dans un gaz en l'ionisant à l'état de plasma.
- Des électrons peuvent alors « surfer » sur le champ de sillage et être accélérés.
- Pour ce faire, il faut des lasers de puissance Ti:Saphire Terawatt ou Petawatt.



Champ de sillage dans un plasma

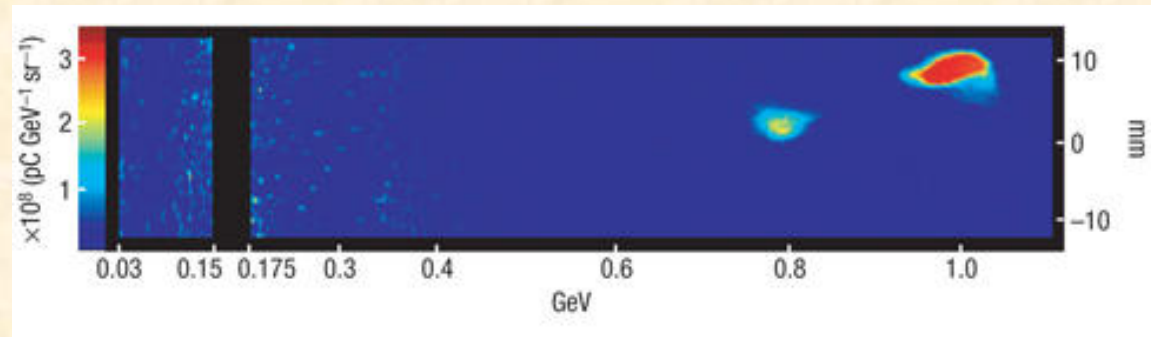
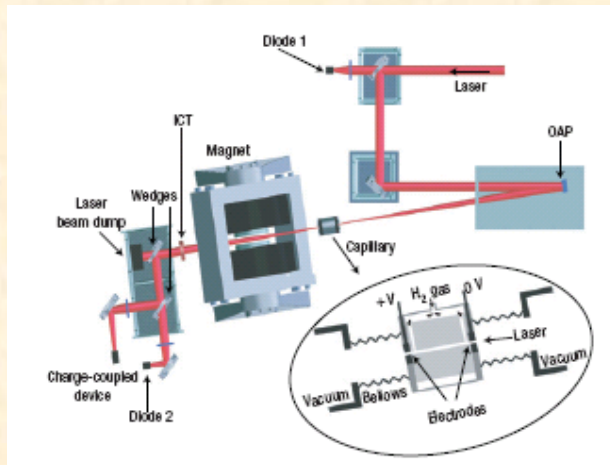
Source: CERN Courier



Faure et al., doi:10.1038/nature05393

# Application: Accélération par champs de sillage laser dans un plasma (3)

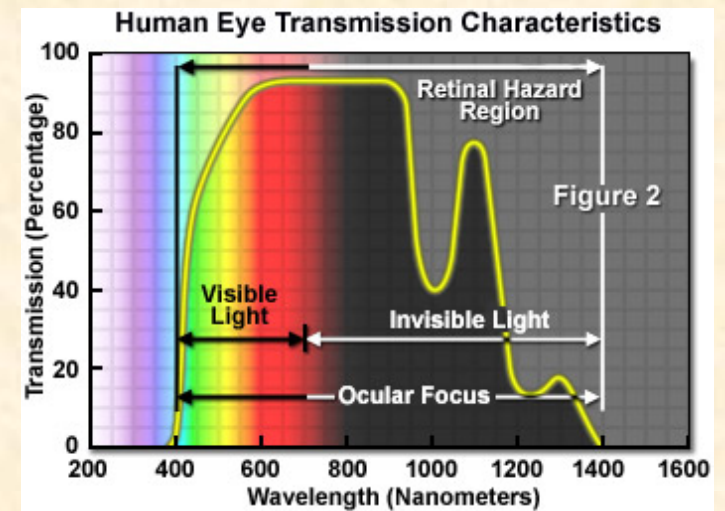
- Avec cette technique des électrons ont été accélérés jusqu'à une énergie de 1 GeV sur une distance de seulement 33mm!
- Plusieurs groupes travaillent sur ces techniques en France.
- Deux labos de l'IN2P3 (LLR et LAL) travaillent sur la mesure des faisceaux produits.



Leemans et al, doi:10.1038/nphys418

# Notions de sécurité avec les lasers

- Les lasers sont des sources de lumières potentiellement très puissantes.
- Dans certains cas les radiations émises par le laser sont à des longueurs d'onde invisibles pour l'œil humain.
- Le faisceau émis par un laser peu causer des dégâts important aux yeux et aux autres parties du corps.
- Leur utilisation est soumis à des restrictions pour la sécurité des utilisateurs et du public.



# Classification des lasers

## Classes 1 et 2

*Les lasers sont répartis en 4 classes et 7 sous classe selon leur dangerosité.*

- Classe 1: Laser sans danger dans des conditions normales d'utilisation. Exemple: lecteurs de CD/DVD, imprimantes, ...  
Puissance: jusqu'à 0.39uW
- Classe 2: Laser visibles pour lesquels la protection de l'œil est assuré par le reflexe palpébral (clignement). Exemple: lecteur de code-barres.  
Puissance: jusqu'à 1mW
- Classe 1M et classe 2M: lasers des classes ci-dessus mais qui peuvent devenir dangereux si une optique (ex: loupe) est utilisée.



# Classification des lasers

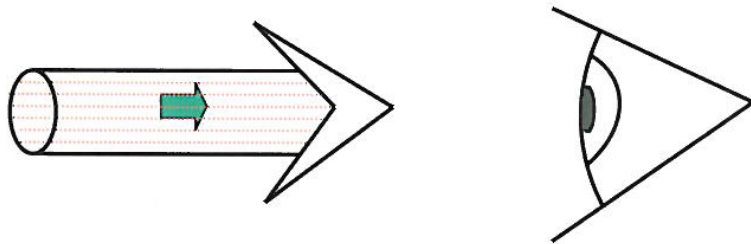
## Classes 3 et 4

- Classe 3A: Laser pour lesquels la vision directe du faisceau est potentiellement dangereuse.  
Puissance: jusqu'à 5mW
- Classe 3B: Laser pour lesquels la vision directe du faisceau est dangereuse.  
Puissance: jusqu'à 500mW
- Classe 4: Laser pouvant aussi causer des dommages sur la peau ou par réflexion diffuse.

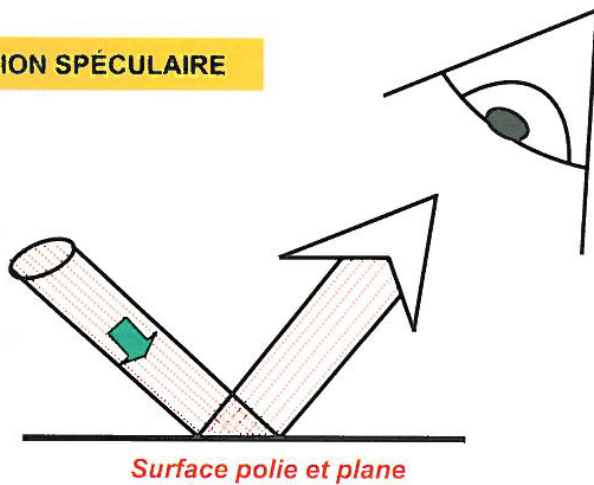


# Certains laser sont dangereux même par réflexion diffuse

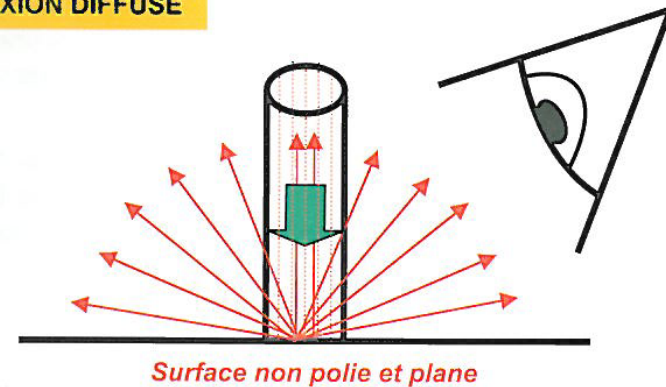
FAISCEAU DIRECT



RÉFLEXION SPÉCULAIRE



RÉFLEXION DIFFUSE



Source: Q. Legrand (LAL)

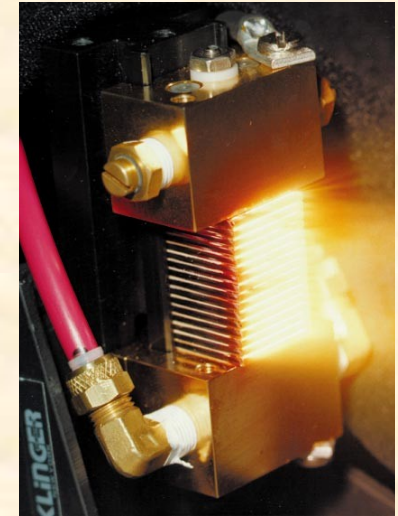
# Procédures de sécurité associées aux lasers

- Le port de lunettes de protection est obligatoire avec les classes 3B et 4 et est recommandé avec la classe 3A.
- Dans de nombreux cas les lasers doivent être inhibés par un interlock: une sécurité qui peut les éteindre si les conditions de sécurité ne sont plus remplies (ouverture du couvercle ou d'une porte par exemple).
- A l'extérieur d'une salle contenant un laser il y a souvent une signalisation spécifique (laser allumé, type de laser, puissance,...).



# Efficacité

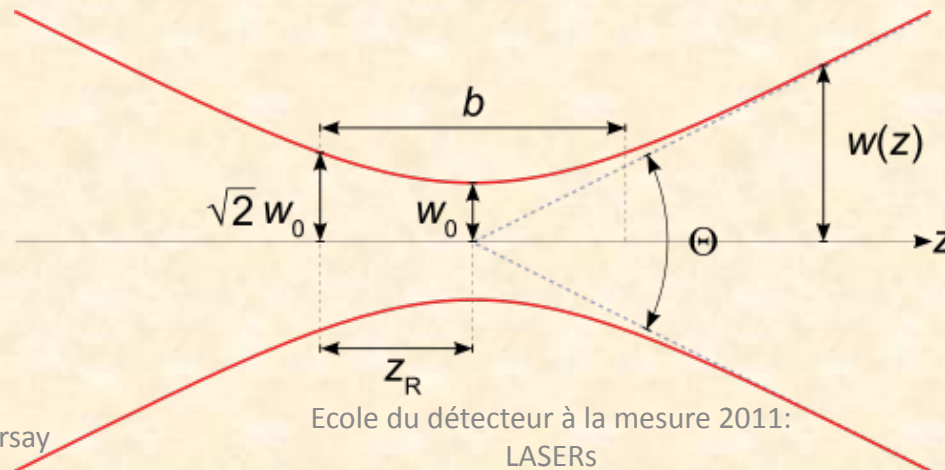
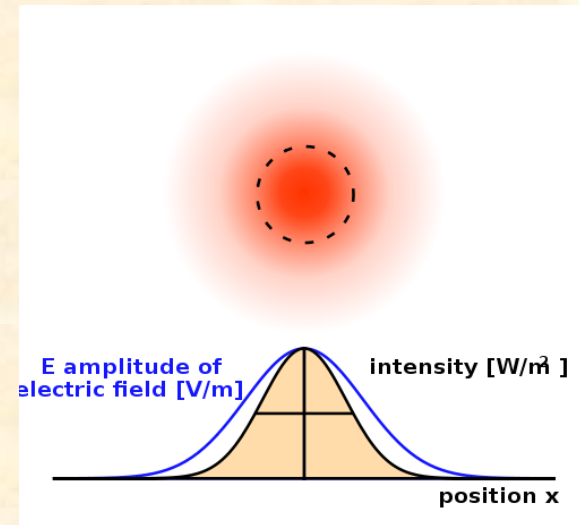
- L'efficacité des lasers (énergie délivrée/énergie consommée à la prise) varie selon leurs paramètres et en particulier selon leur méthode de pompage.
- Les lasers utilisant des lampes à décharge ont des efficacités de quelques pourcent.
- Les diodes laser ont un rendement de l'ordre de 50-60%
- Avec un pompage par diode l'efficacité d'un laser peut atteindre 40% dans l'IR, ~20% dans le vert, 5-10% dans l'UV.
- Pour comparaison: une ampoule à incandescence a une efficacité de ~3%.
- Une lampe fluorescente (tube néon) a une efficacité de l'ordre de 20%  
Une lampe fluorescente compacte a une efficacité de l'ordre de 10%





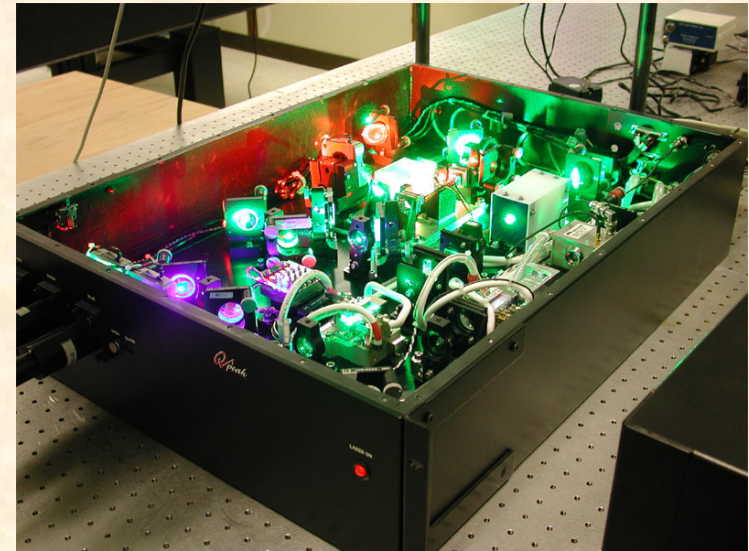
# Propagation d'un faisceau laser

- Un faisceau laser idéal (mode TEM 00) est gaussien.
- Au premier ordre les règles de l'optique géométrique s'appliquent.
- Cependant il n'est pas possible de former un point focal infiniment petit (cf cours accélérateurs).
- Près d'un point focal un faisceau laser va décrire une trajectoire hyperbolique.



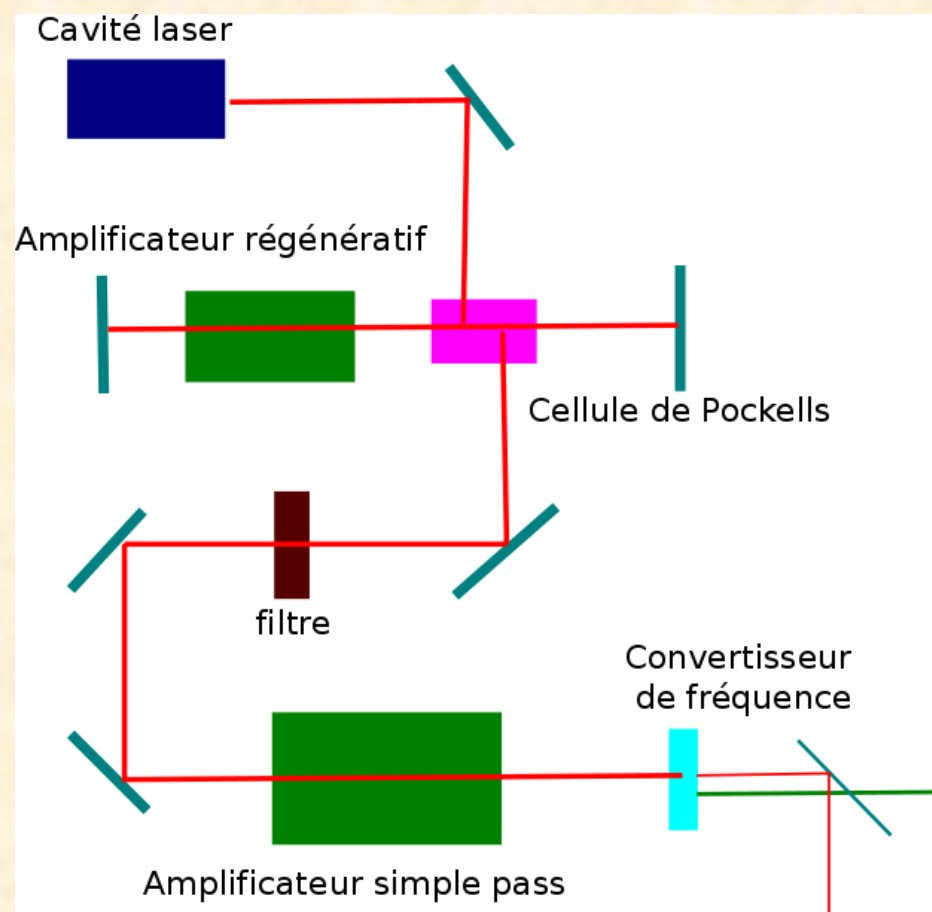
# Propagation d'un faisceau laser (2)

- Un rayon lumineux se propageant n'est visible que là où il est diffusé!  
=> Il n'est pas visible dans l'air (sauf fumée)  
=> Il n'est pas visible sur les miroirs!
- Note: certains miroirs « diélectriques » ont des revêtements qui sont réfléchissant seulement à certaines longueurs d'onde (et transmettent à d'autres).



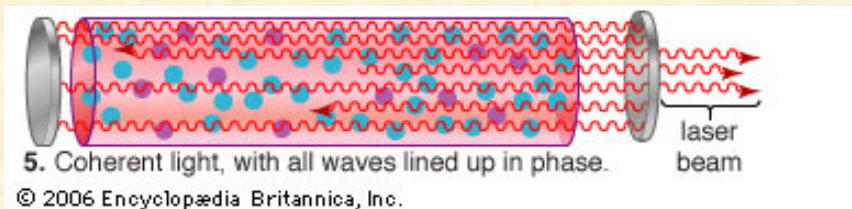
# Alignement

- L'alignement d'un laser est très important.
- Le faisceau d'un laser se propage en ligne droite  
=> une erreur de 1mrad sur un miroir se transforme en 1mm après un 1m.  
=> une erreur de quelques mm en entrée dans le milieu amplificateur résulte dans une puissance beaucoup plus faible.
- Un monture de miroir « bouge » régulièrement (cycle thermiques, vibrations acoustiques,...)
- Il faut régulièrement ré-aligner les gros systèmes laser pour conserver des performances raisonnables.



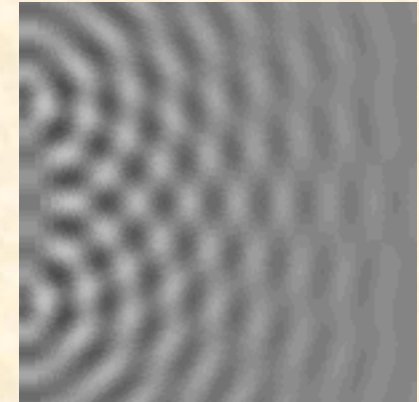
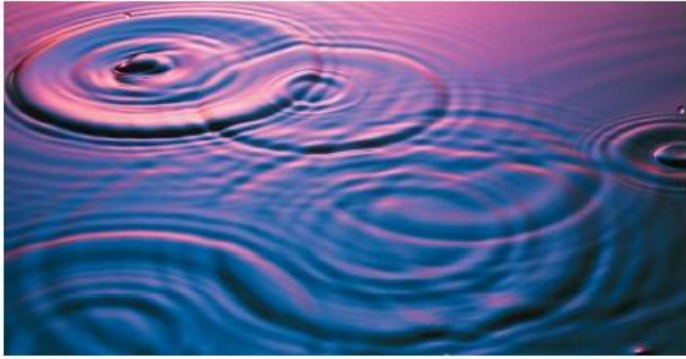
# Cohérence

- Dans un système idéal toutes les ondes de lumière (ondes électromagnétiques) émises par une source sont liées en phase.
- Dans la réalité ce n'est pas toujours le cas...
- Si une source émet deux ondes électromagnétiques séparées spatialement mais avec une relation entre leur phases il y a cohérence spatiale.
- Si les deux ondes sont émises à des instants différents il y a cohérence temporelle.
- Une ampoule incandescente a une très mauvaise cohérence spatiale et temporelle.
- Les lasers, de par la nature de l'émission, ont une excellente cohérence spatiale et temporelle.



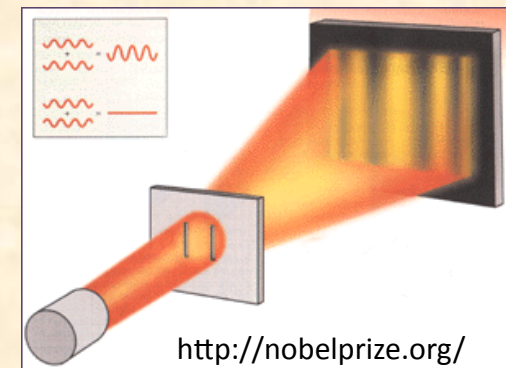
$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi)}$$

lecteur à la mesure 2011:  
LASERS



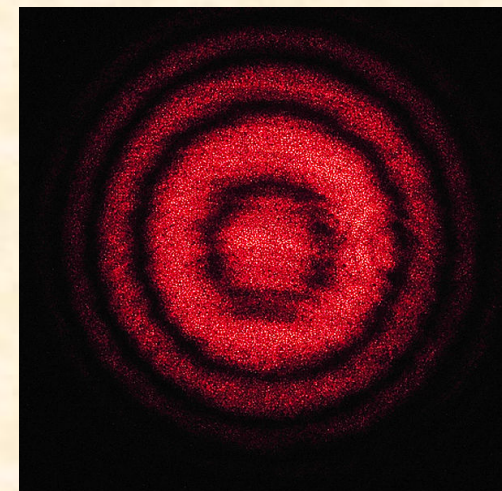
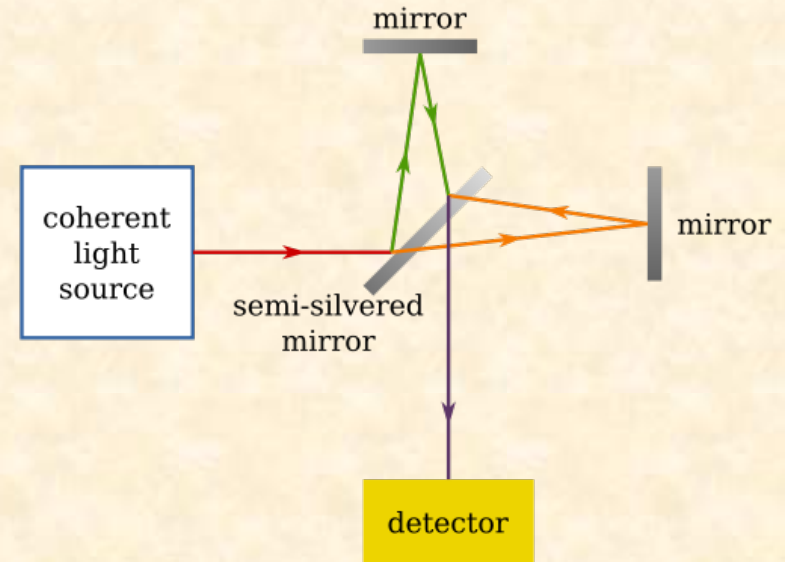
# Interférences

- Deux vagues qui se superposent peuvent s'ajouter pour en former une plus grande ou au contraire « s'annuler ».
- Cela s'appelle des interférences. Elles peuvent être constructives (quand les vagues s'ajoutent) ou destructives (quand les vagues s'annulent).
- Les ondes électromagnétiques se comportent comme des vagues en 3 dimensions. Quand elles sont cohérentes elles peuvent donc interférer constructivement ou destructivement.



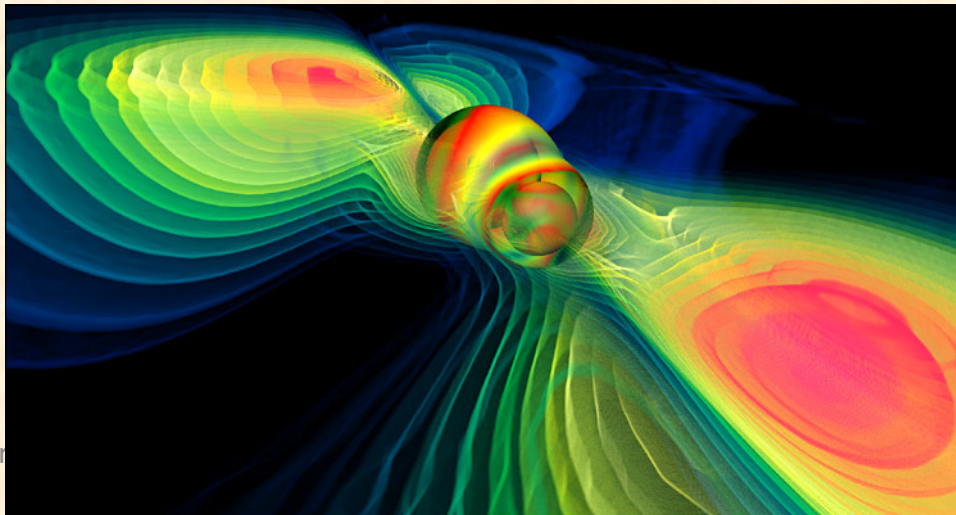
# L'interféromètre de Michelson

- Dans un interféromètre de Michelson un faisceau lumineux (cohérent) est séparé en deux bras.
- Les deux bras sont ensuite recombinaison => interférences.
- Ces interférences changent si la longueur de l'un des deux bras change.
- Ce montage fut utilisé pour la première fois à la fin du XIXème siècle et il montra que la vitesse de la lumière était la même dans toutes les directions (Michelson-Morley) contrairement aux prédictions de l'époque.



# Application: VIRGO

- Lorsque deux étoiles massives (par exemple des étoiles à neutrons) sont très proches l'une de l'autre elles émettent des « ondes gravitationnelles », c'est à dire qu'elles tordent l'espace-temps autour d'elles.
- Des cataclysmes gravitationnels (supernovae, collision d'un système binaire massif,...) peuvent aussi émettre des ondes gravitationnelles.
- Ces ondes seraient trop faibles pour que nous les ressentions directement sur terre mais elles entraineraient sur leur passage une légère oscillation de la taille des objets.



# Application: VIRGO

## Un interféromètre géant

- L'interféromètre de Michelson est l'outil le mieux adapté pour observer des variations des longueurs.
- En construisant un interféromètre géant il est possible d'être sensibles à des variations de longueurs très faibles, comme celles attendues dans le cas d'ondes gravitationnelles.
- VIRGO est un interféromètre dont les bras sont de 3km de long! (LIGO: deux cousins de même taille!).
- Cependant pour une meilleure sensibilité il faudrait au moins 100 fois plus long (mais repliés)!

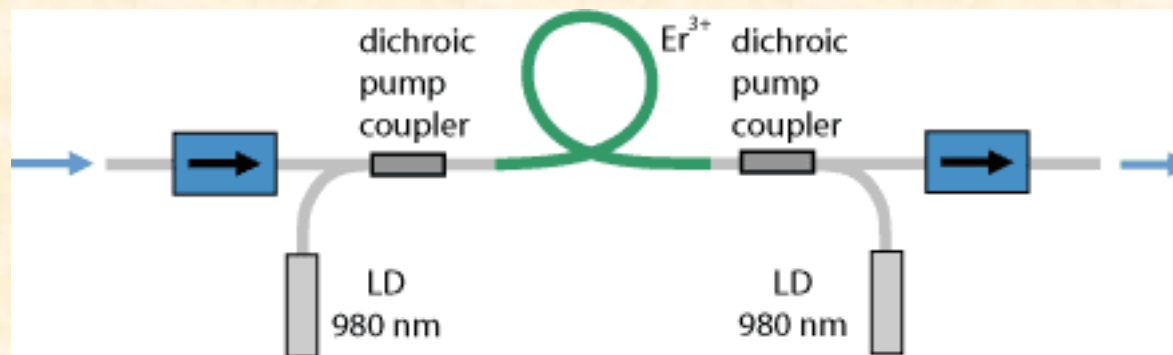




# Les lasers à fibre

## 1. Télécoms

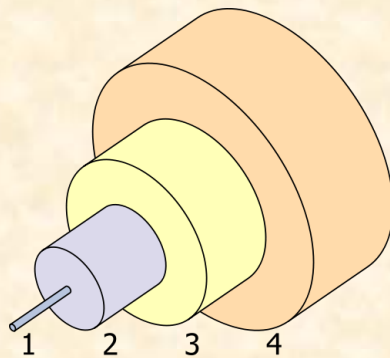
- Les fibres optiques faite de silice sont le meilleur moyen de transmettre des données sur des longues distances.
- Les fibres télécom les plus populaires opèrent autour de 1550nm là où les pertes dans la silice sont les plus faible.
- Malgré les pertes très faibles, le signal doit être amplifié après une certaine distance.
- Il est possible de doper des fibres optiques avec de l'erbium. Elles peuvent alors être utilisées comme amplificateur.



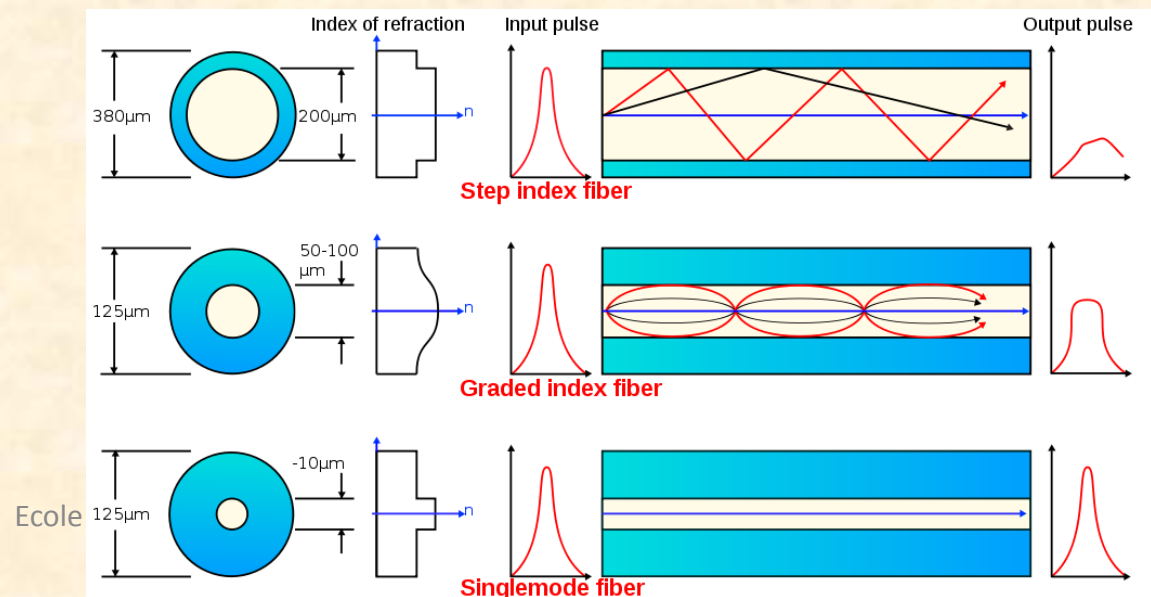
# Lasers à fibre

## Principe d'une fibre optique

- Dans une fibre optique le cœur guide la propagation du signal optique. La gaine est faite d'un matériel différent de manière à ce que les rayons lumineux arrivant à incidence rasante sur l'interface fibre-gaine soient réfléchis et restent dans le cœur.
- Si le cœur est très petit seul le mode principal peut se propager.



Nicolas Delerue, LAL Orsay

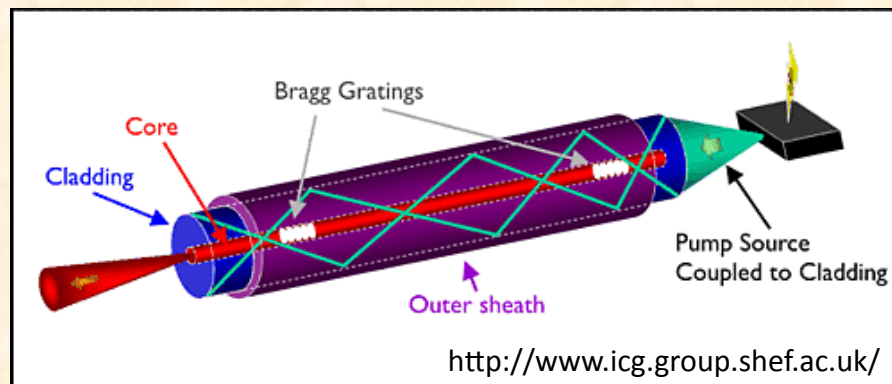


Ecole

# Les lasers à fibre

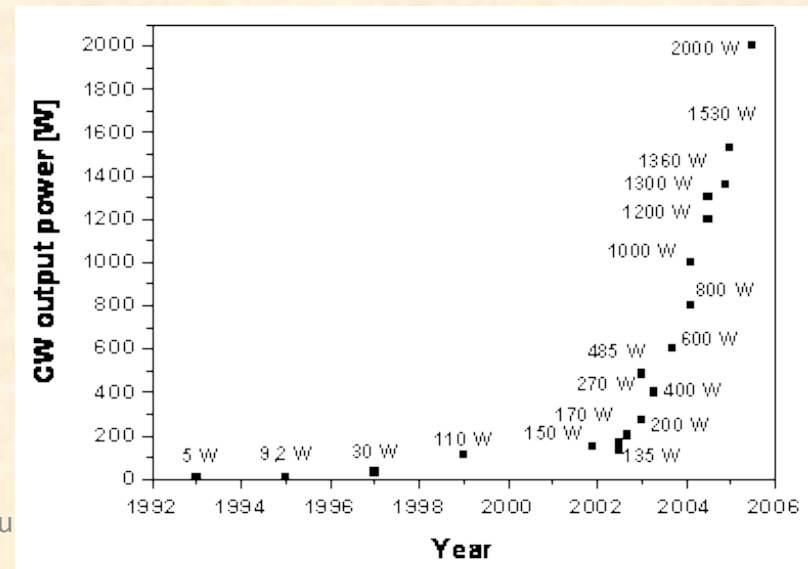
## 2. Hors télécoms

- Les fibres optiques dopées ont aussi des propriétés très intéressantes hors des applications télécoms:
  - une fibre possède une grande surface d'échange => meilleures propriétés thermiques
  - le nombre de mode pouvant se propager dans une fibre est plus réduit => meilleure qualité de faisceau.
- Pour atteindre des puissances importantes l'erbium n'est pas le meilleur choix: trop fragile.
- L'ytterbium possède des propriétés thermiques meilleures (longueur d'onde  $\sim 1030\text{nm}$ ).



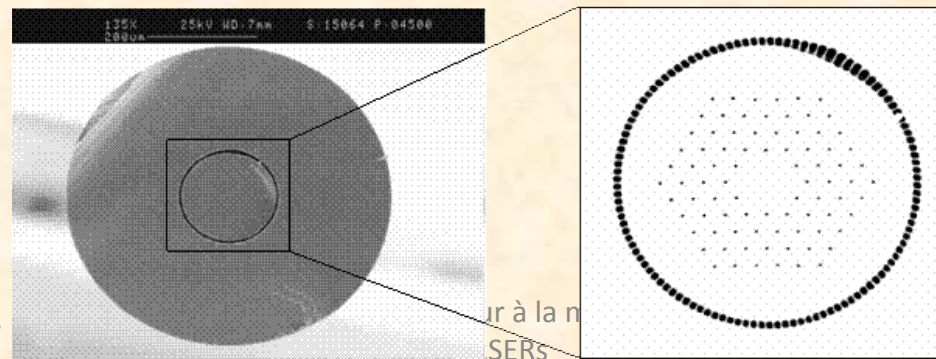
Nicolas Delerue, LAL Orsay

Ecole du détecteur à la mesu  
LASERS

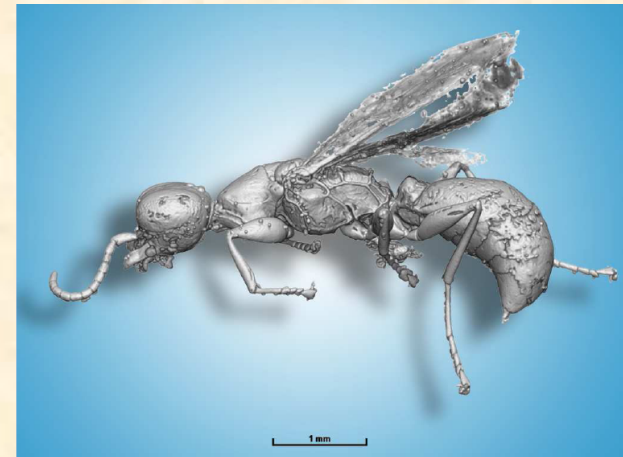
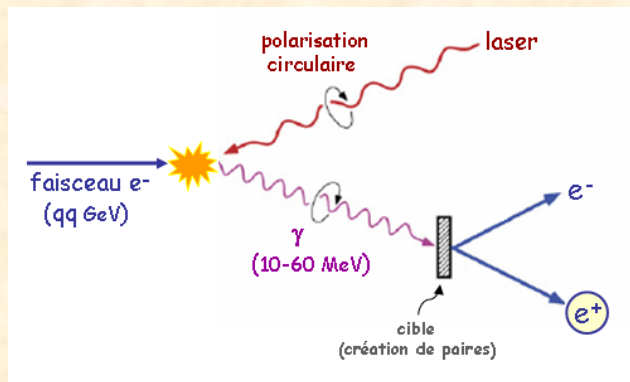


# Les lasers à fibre: Fibre photonique

- Il est possible de fabriquer des fibres ayant une géométrie spéciale pour permettre une meilleure amplification, une meilleure qualité de faisceaux, une meilleure qualité de pointage et de meilleures propriétés thermiques.
- Certaines de ces fibres dites « photonique » permettent par exemple de s'assurer que la pompe entre progressivement dans le cœur, améliorant ainsi l'homogénéité de l'amplification.
- Ces fibres sont souvent utilisées simplement comme milieu amplificateur mais elles peuvent aussi être fusionnées avec d'autres éléments (pompe,...).

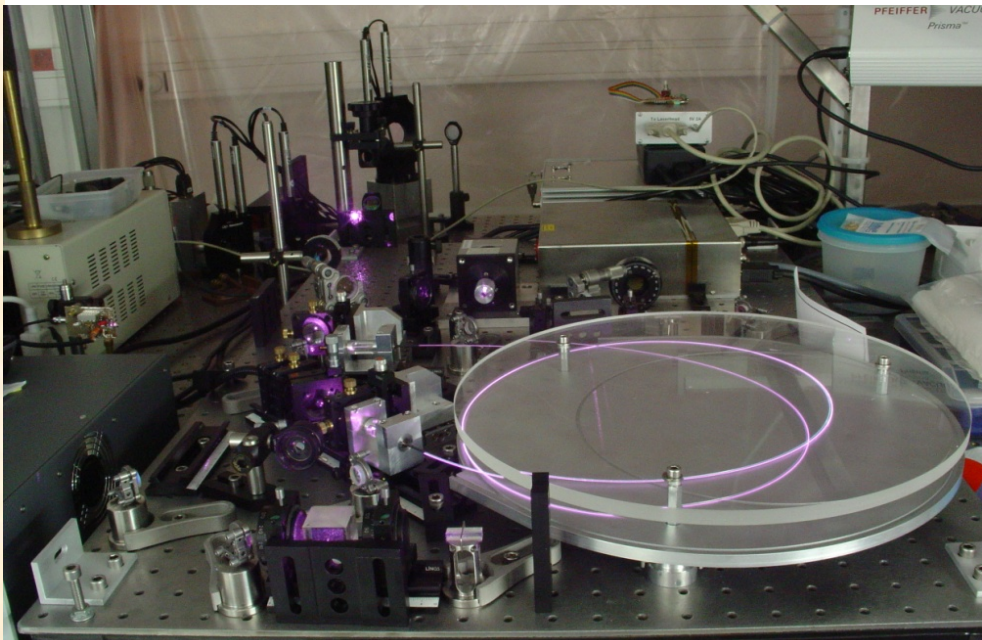
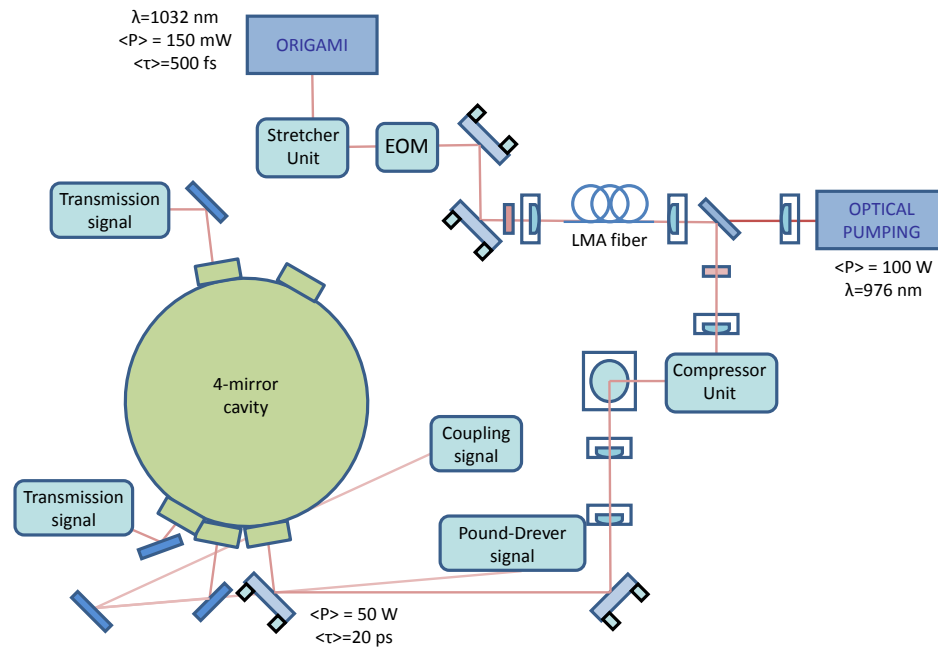


# Application: MightyLaser



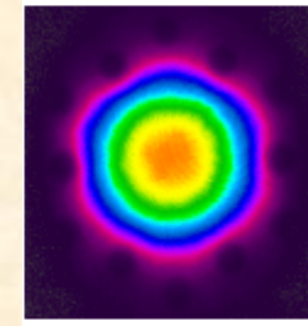
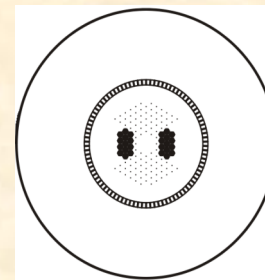
- La production d'un flux intense de rayons X (ou de rayons gamma) de haute énergie a de nombreuses applications: cela permet par exemple d'étudier des tableaux anciens, des fossiles pris dans de l'ambre ou de produire des positrons polarisés pour la prochaine génération d'accélérateurs de particules.
- Cela peut être fait de manière compacte en utilisant les interactions entre un laser et un paquet d'électrons.
- MightyLaser est un projet installé sur l'accélérateur ATF au KEK au Japon pour démontrer que des flux intenses de rayons X peuvent être produit par cette technique.

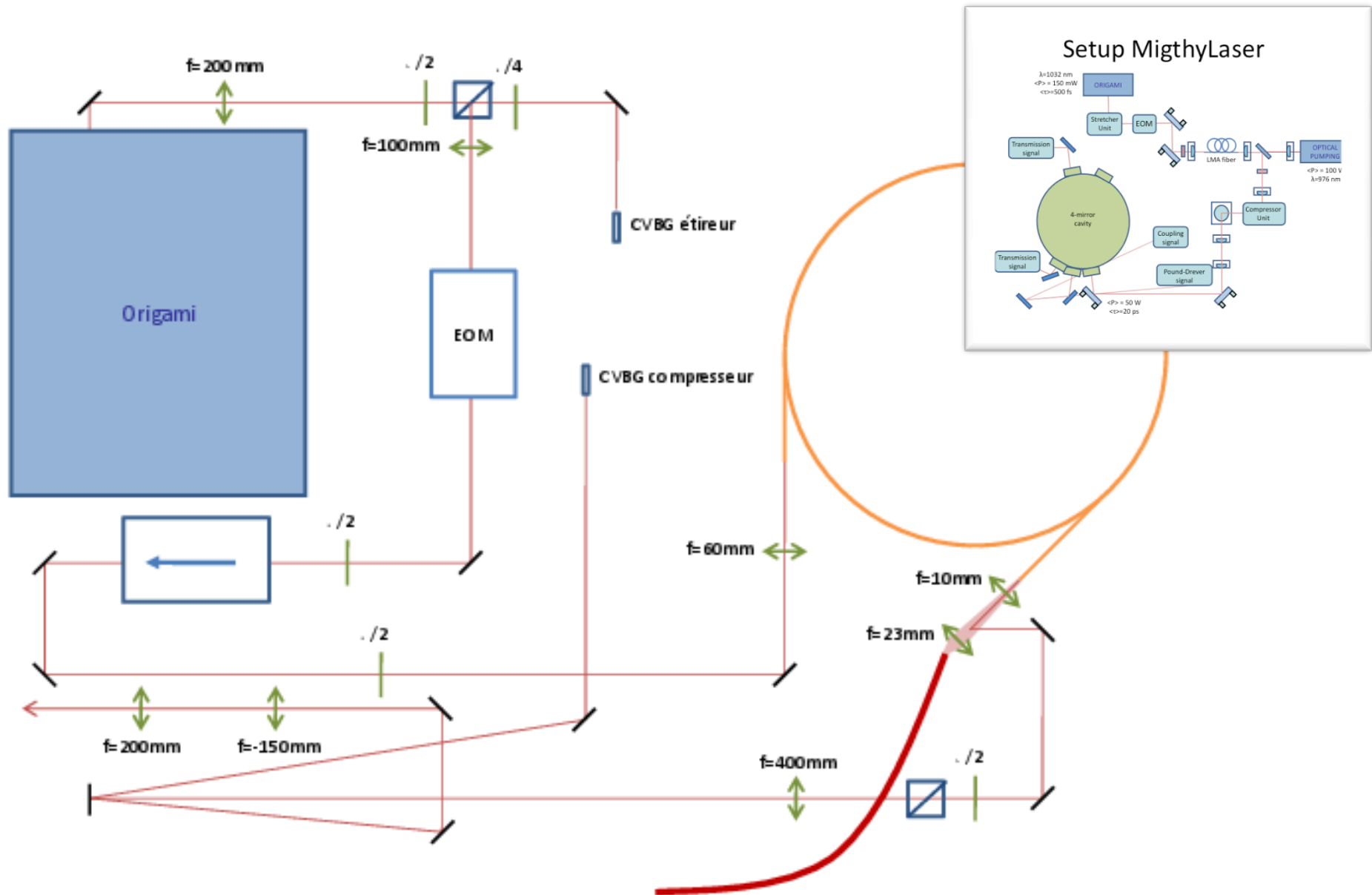
# Setup MigthyLaser



## Exemple de laser à fibre: MigthyLaser

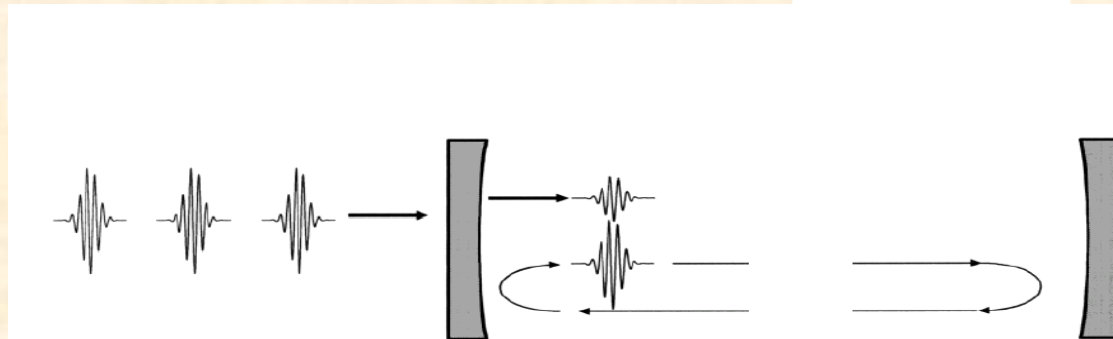
- Dans MigthyLaser la qualité du faisceau laser est très importante, d'où le choix d'un amplificateur à fibre.
- La puissance requise nécessite l'amplification d'une impulsion étirée.
- Cf schéma optique détaillé.





- Les impulsions laser sont ensuite empilées dans une cavité Fabry-Pérot...

# Cavités Fabry-Pérot



- Il est possible de « capturer » une impulsion lumineuse entre deux miroirs de haute qualité (haute finesse) => Cavité Fabry-Pérot
- Une fois cette impulsion capturée, il est possible d'en ajouter d'autres...
- Cependant il faut faire attention: les impulsions interagissent entre-elles. Si elles n'ont pas la bonne phase elle vont interagir destructivement.  
=> La longueur (aller-retour) de la cavité doit être un nombre entier de longueurs d'ondes.
- Dans certains cas, cela requiert un système de retro-action très avancé pour compenser les fluctuations (acoustiques, thermiques...) de la longueur de la cavité.



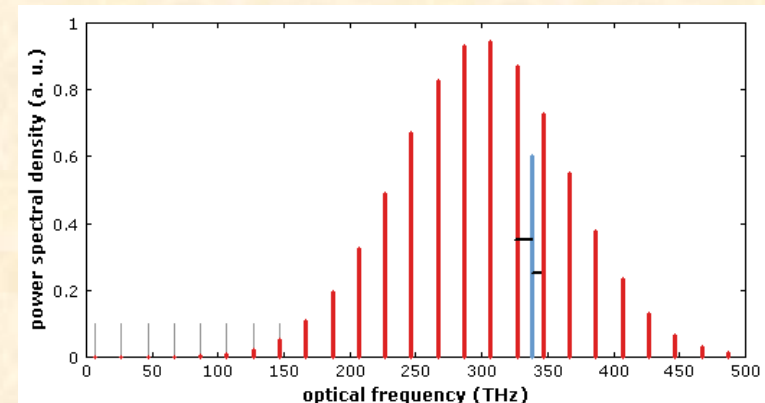
# Peignes de fréquence

- Il n'est pas possible que la cavité soit exactement à la bonne longueur pour toutes les longueurs d'onde de la largeur spectrale de la cavité => dans une cavité Fabry-Pérot certaines longueurs d'ondes sont accumulées et d'autres sont rejetées... => peigne de fréquence!

$$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$$

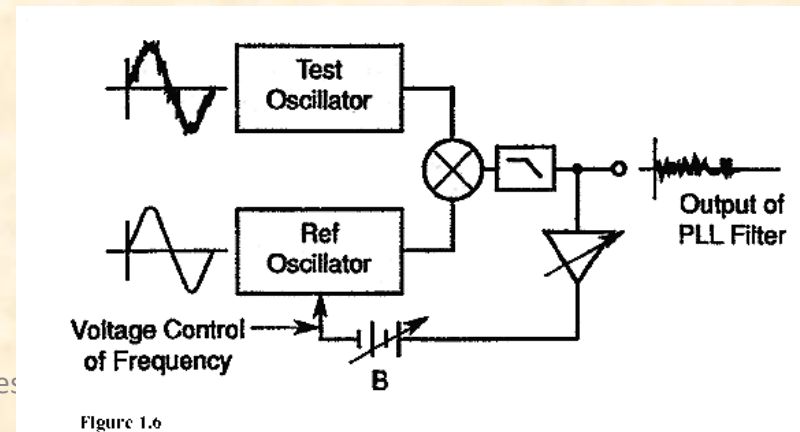
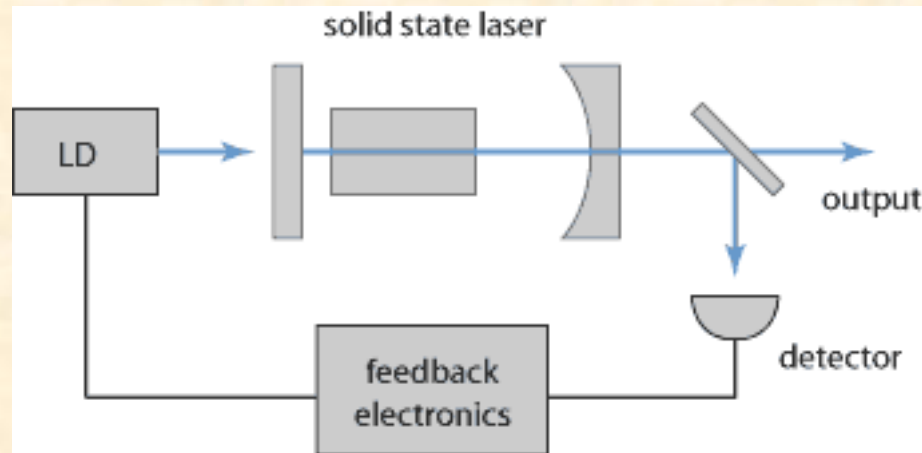
$$L = k\lambda_1 = (k + 1)\lambda_3$$

$$\nexists k_2 \in \mathbb{N} / L = k_2\lambda_2$$

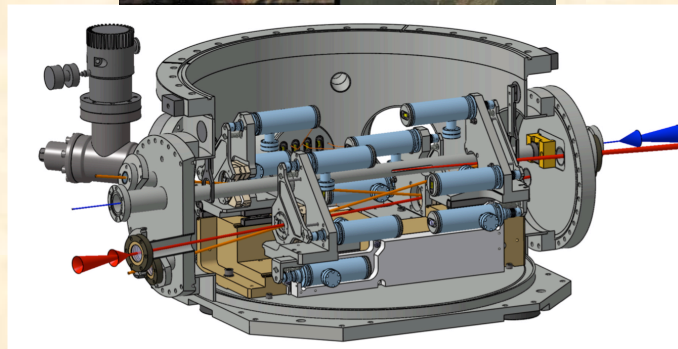
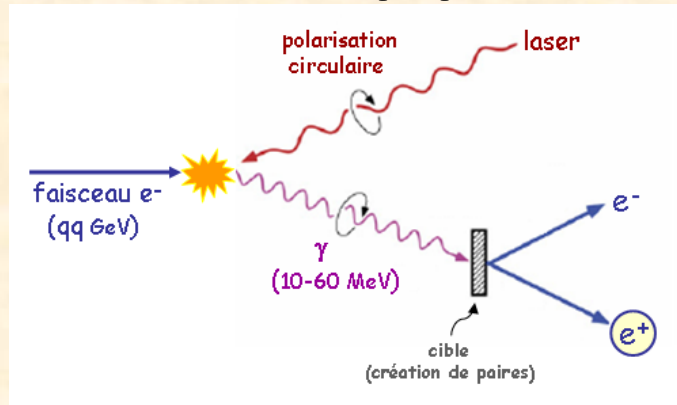


# Synchronisation

- Quand un laser est utilisé dans un accélérateur il faut assurer la synchronisation du laser avec l'accélérateur (pour que les impulsions arrivent en même temps).
- Cela peut se faire en ajustant la taille de la cavité avec une boucle à phase asservie (Phase locked loop, PLL).



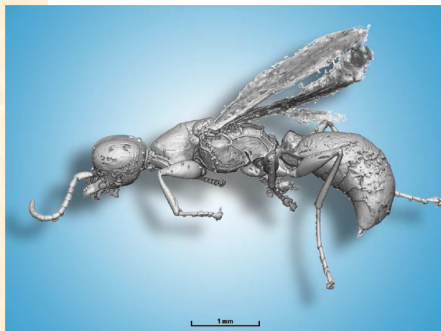
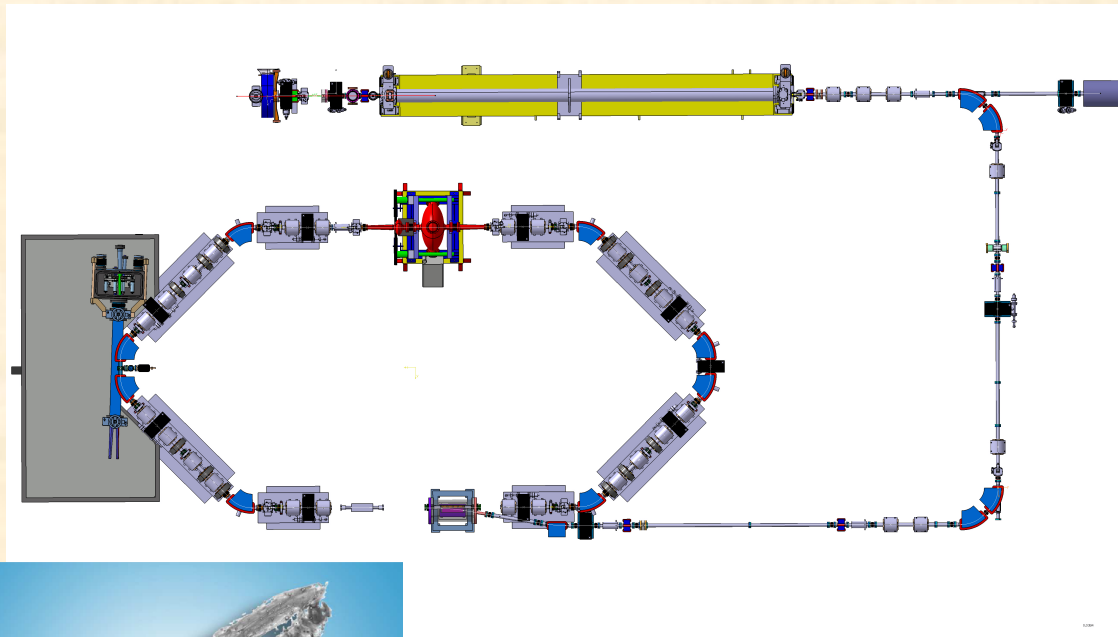
# Application: MightyLaser



- La section efficace des interactions Compton est très faible.
- Pour obtenir un bon rendement il est possible de « recycler » le faisceau laser dans une cavité Fabry-Pérot.
- Le projet MightyLaser étudie comment accumuler des puissances laser importantes dans une cavité Fabry-Pérot installée sur un accélérateur d'électrons (ATF) au Japon.

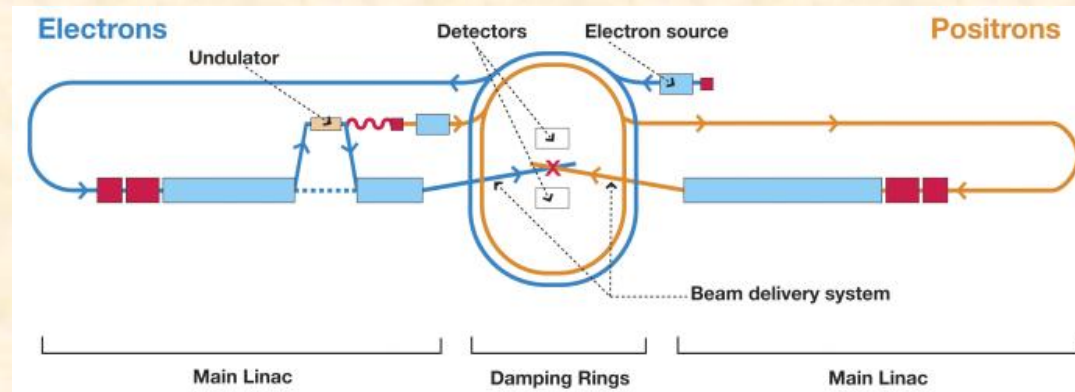
=> Cf présentation d'Iryna aujourd'hui à 15h45

# Application: ThomX

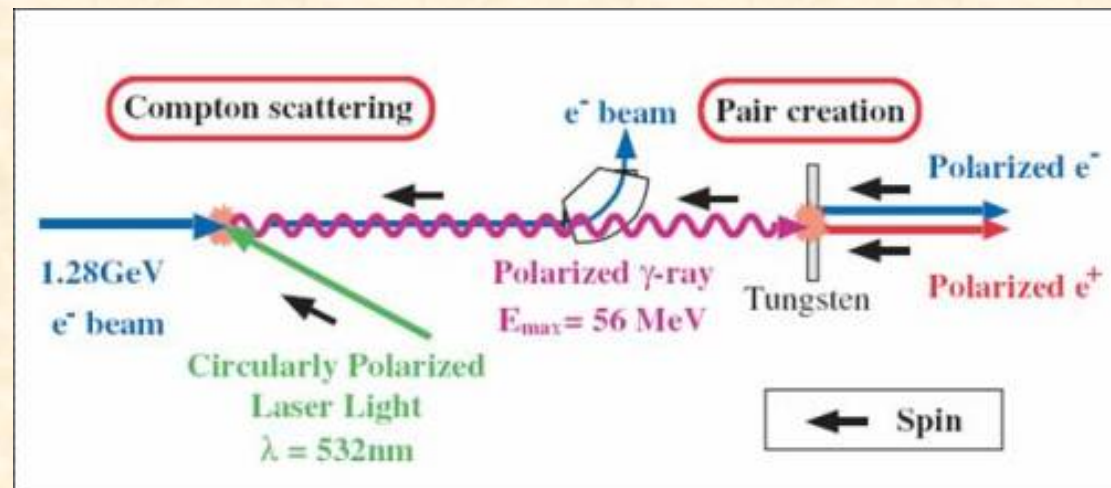


- L'accélérateur ThomX en phase de développement à Orsay va utiliser une cavité Fabry-Pérot pour produire des flux intenses de rayons X avec des applications dans de nombreux domaines.

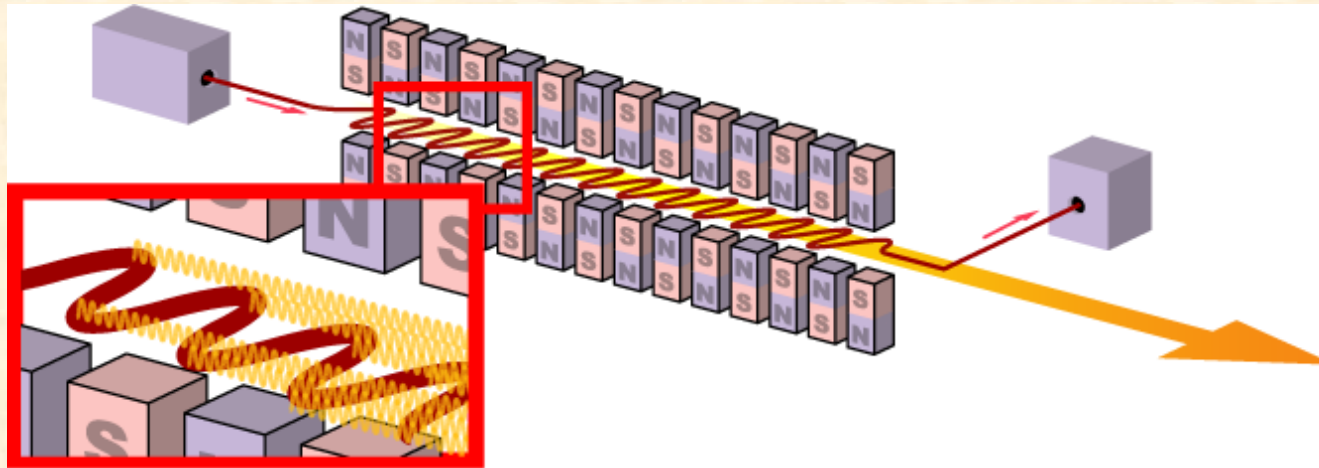
# Source de positrons pour l'ILC



- Le prochain collisionneur  $e^+/e^-$  aura besoin d'une source intense de positrons.
- L'une des solutions possible pour produire ce flux est de produire des photons de haute énergie par interaction Compton.
- Il y a aussi des projets de collisionneur photon-photon avec des photons de centaines de GeV. Ces photons seraient probablement produit par interaction Compton.

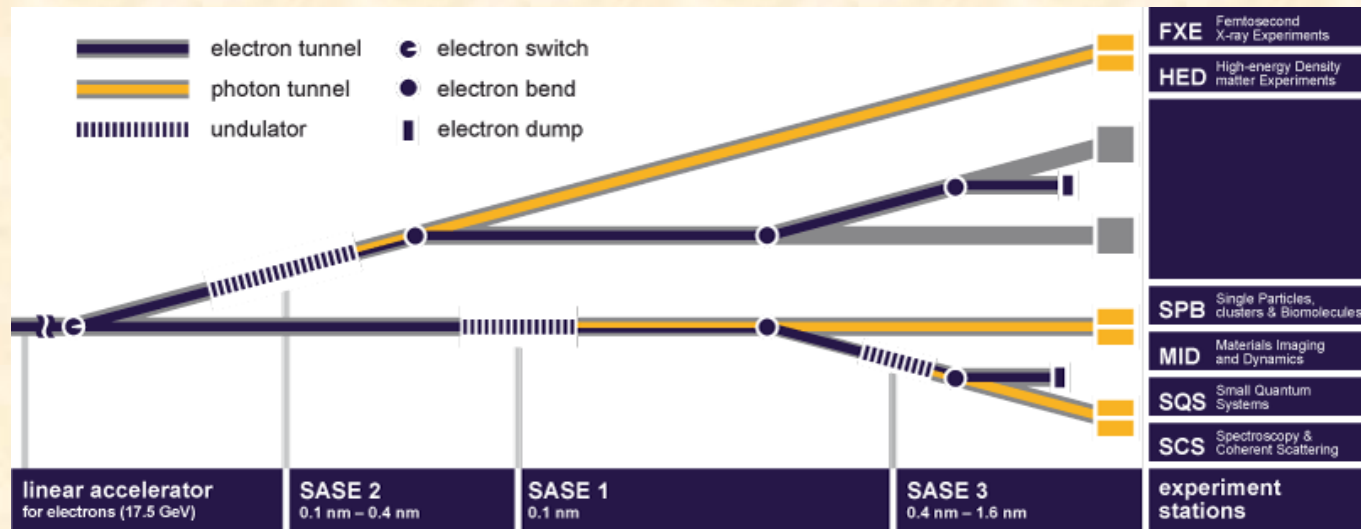


# Un type de laser particulier: Le laser à électrons libres



- Un électron (ou toute particule chargée) peut émettre du rayonnement synchrotron.
- En créant des conditions favorables il est possible de préparer les électrons à émettre de la lumière (c'est à dire en quelque sorte crée une inversion de population).
- Puis il est possible d'entraîner une émission stimulée  
=> C'est le principe du laser à électrons libres.
- Tout comme pour un laser classique un FEL peut fonctionner soit en régime exponentiel soit en régime saturé.

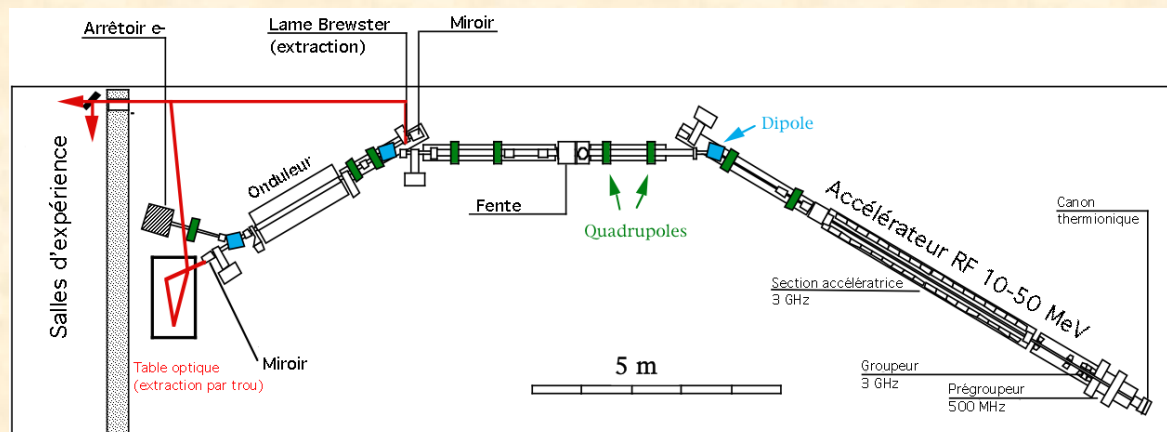
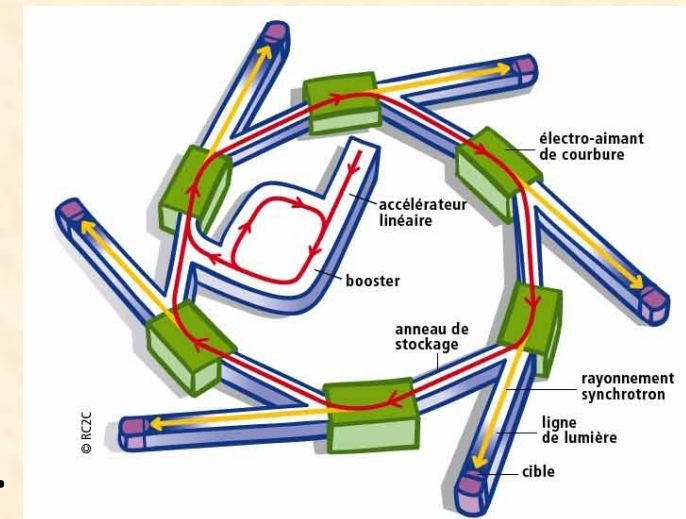
# Application: X-FEL



- Le FEL Européen X-Fel va produire des impulsions très courtes et très intenses de rayons X avec des applications dans de nombreux domaines de recherche.

# FEL et synchrotrons

- En France il y a deux synchrotrons utilisés comme source de lumière: SOLEIL et l'ESRF et un laser à Electron libre IR (CLIO).
- A la différence des lasers à électrons libre, les synchrotron n'utilisent pas (normalement) l'émission stimulée => flux beaucoup moins intense.
- Les synchrotrons produisent aussi des impulsions plus longues => beaucoup moins de puissance crête.

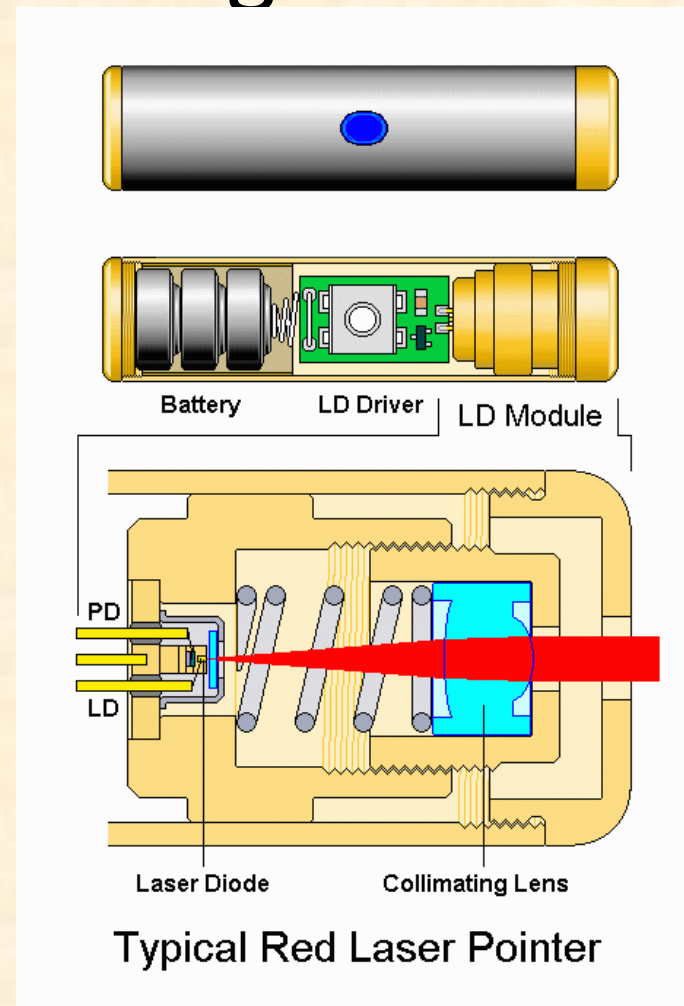




# Combien coûte un laser?

## Pointeur laser rouge

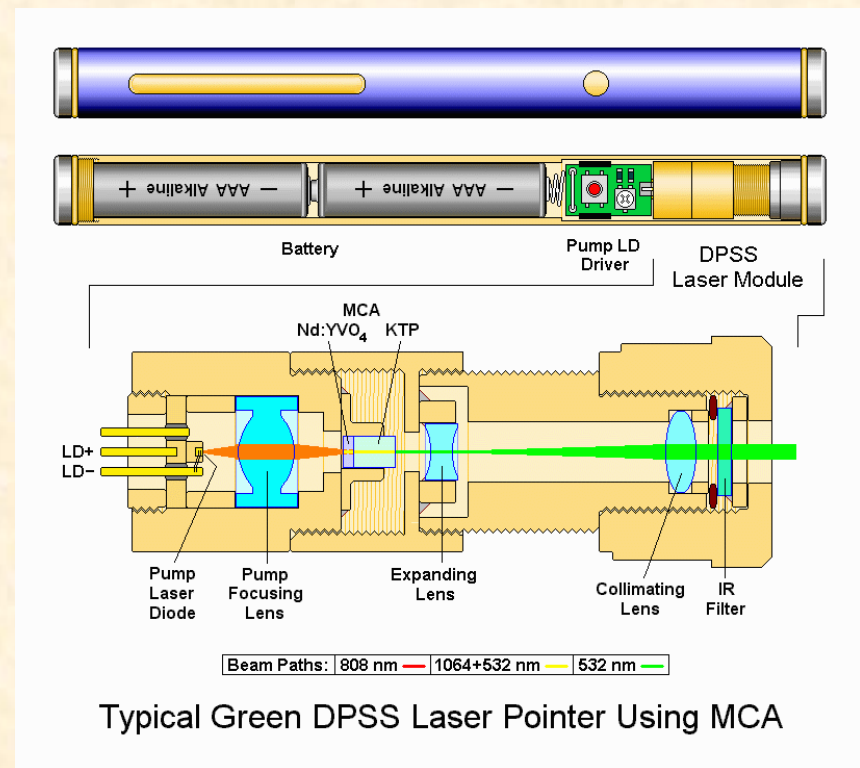
- Difficile de donner des prix exacts (confidentiels) mais je vais donner des ordres de grandeur.
- Un pointeur laser rouge coûte à peu près le même prix qu'un ticket de lotterie.



# Combien coûte un laser?

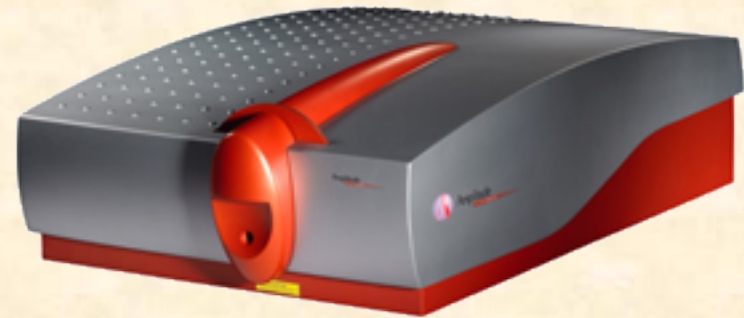
## Pointeur laser vert

- Un pointeur laser vert coûte le même prix qu'un repas dans un restaurant...



# Combien coûte un laser? Oscillateur ps/fs

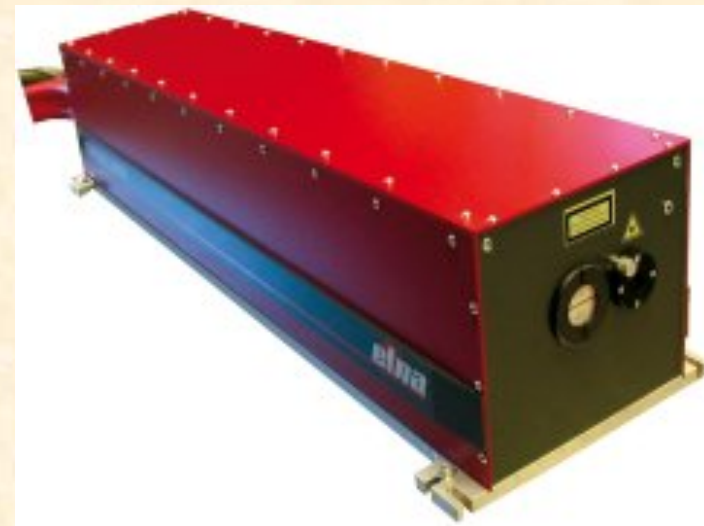
- Un oscillateur picosecondes ou femtosecondes coûte le même prix qu'une grosse voiture.



# Combien coûte un laser?

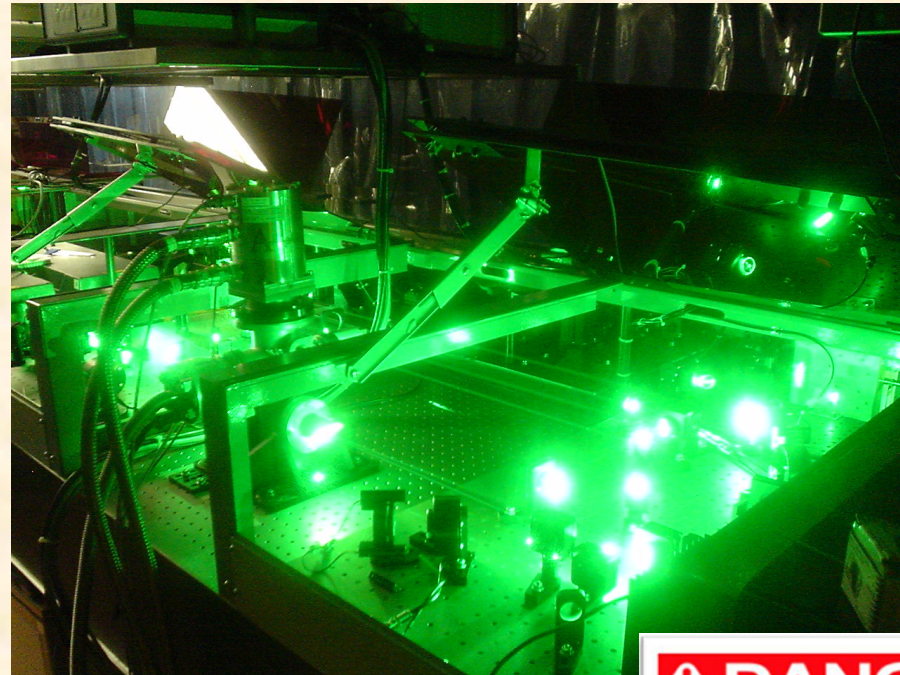
## Systeme pulsé Megawatt/Gigawatt

- Un système laser pulsé (ps/fs) capable de produire quelques MW ou GW coûte le même prix qu'une maison.



# Combien coûte un laser? Système Terawatt

- Pour pouvoir vous offrir un système Terawatt l'une des solutions est de gagner le premier prix au loto...



<http://www.amplitude-technologies.com/>

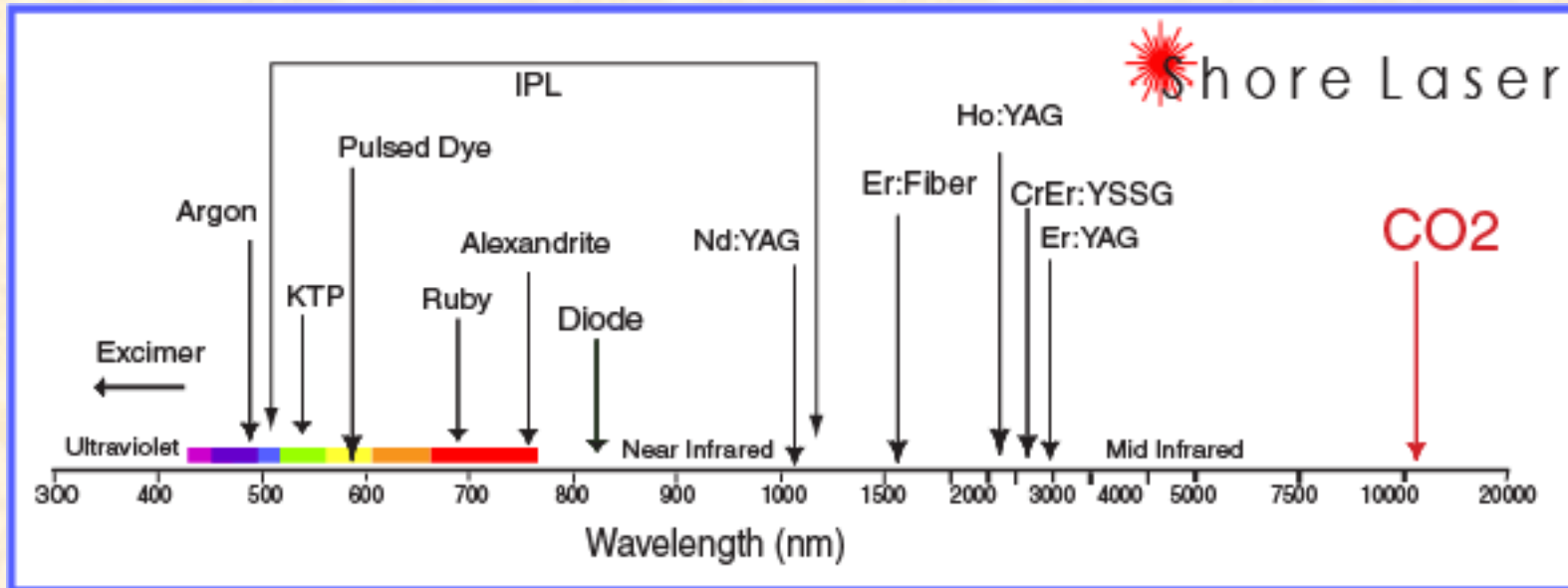


**JOUER COMPORTE DES RISQUES : ENDETTEMENT, ISOLEMENT, DÉPENDANCE.**  
**POUR ÊTRE AIDÉ, APPELEZ LE 09-74-75-13-13 (APPEL NON SURTAXÉ)**

Nicolas De



# Spectre de quelque lasers



- Les lasers couvrent toutes la gamme visible et bien au delà dans l'IR. Il est par contre plus difficile d'aller dans l'UV lointain (hors FEL).

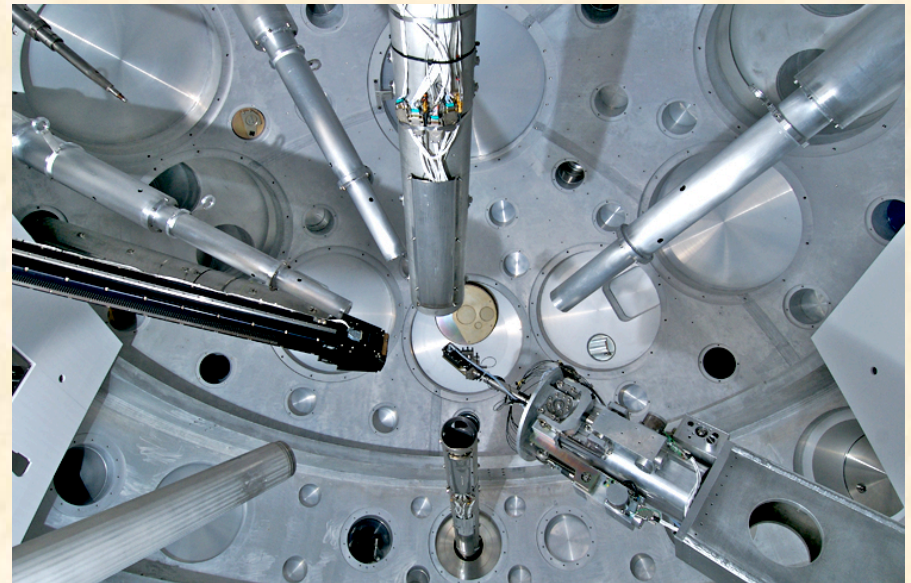
# Laser mégajoule

- Le laser le plus énergétique du monde est en construction pas très loin d'ici, près de bordeaux.
- Le laser mégajoule pourra à terme délivrer des impulsions ns de 1.8MJ.
- Cela est fait en combinant 8 faisceaux laser obtenu en groupant 30 chaînes d'amplification chacun.
- Il sera utilisé pour simuler les bombes nucléaires fabriquées en France.



# Megajoule

- La combinaison de nombreuses chaînes laser de haute énergie en un seul faisceau est loin d'être facile: si la phase est mauvaise il y a interférence destructive!!!
- Au point focal par contre les 8 faisceaux vont taper sur des parties différentes de la cible  
=> pas de problèmes d'interférence.
- La pression obtenue sera de l'ordre de 1 Tbar!





# Application: expériences pompe-sonde

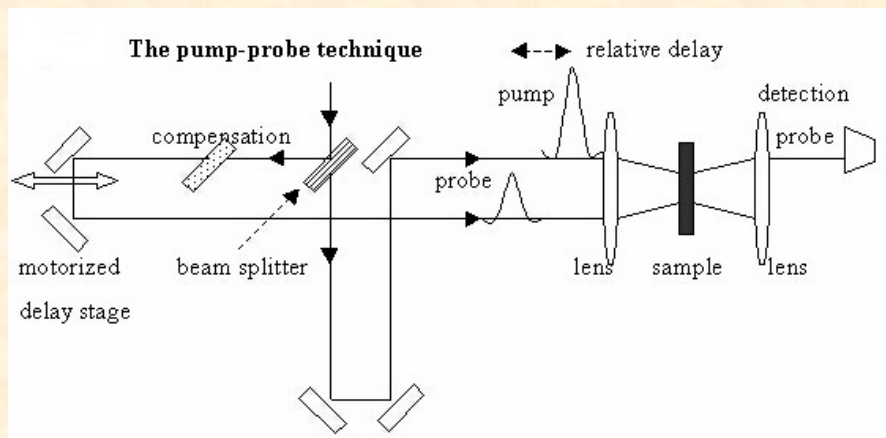
- Permet de voir des phénomènes ultra-courts en contrôlant l'intervalle de temps entre le déclenchement et l'observation.



K. Adamczyk, J. Dreyer, E. T. J. Nibbering  
O. F. Mohammed, N. Banerji, B. Lang, E. Vauthey



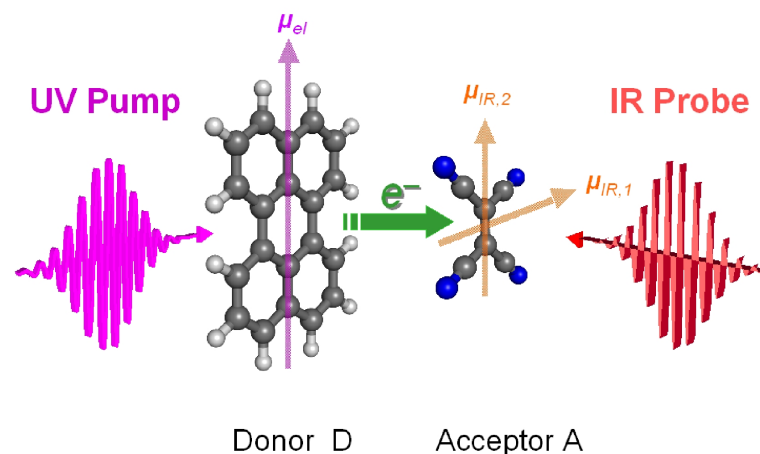
## Polarization-Sensitive UV-Pump IR-Probe Spectroscopy



<http://www.iop.kiev.ua/>

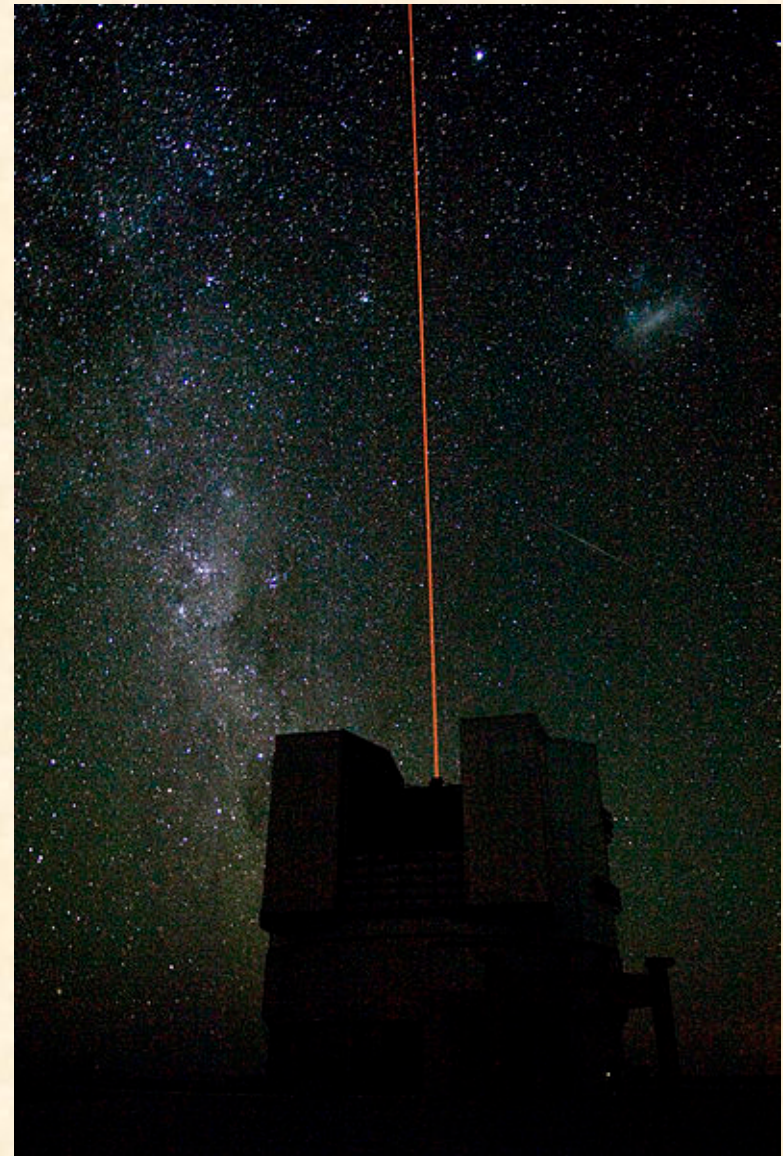
Nicolas Delerue, LAL Orsay

Ecole du détecteur à la  
LASERS



# Etoiles virtuelles

- La résolution des télescopes terrestres est limitée par les fluctuations de densité dans l'atmosphère.
- Pour améliorer la résolution de leurs télescopes les astronomes corrigent ces fluctuations en utilisant des optiques « adaptative ».
- Ils peuvent le faire en observant des étoiles bien connues à proximité de l'objet qu'ils veulent observer.
- Ils peuvent aussi utiliser des lasers de puissance illuminant le ciel pour créer des « étoiles virtuelles ».

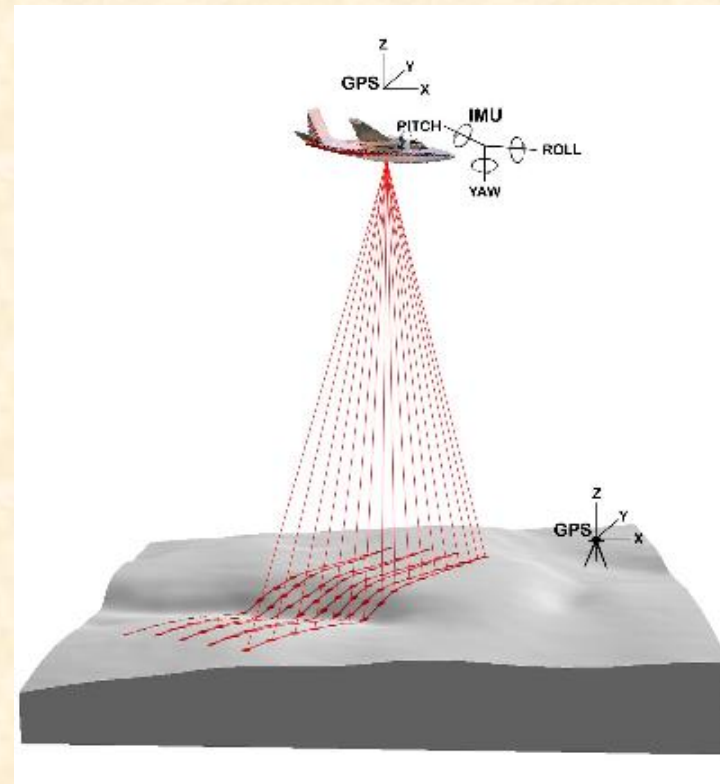


# LIDAR / Mesure de distance

- LIDAR = Light Detection and Ranging
- Analogue dans le visible du RADAR (mais meilleure résolution).



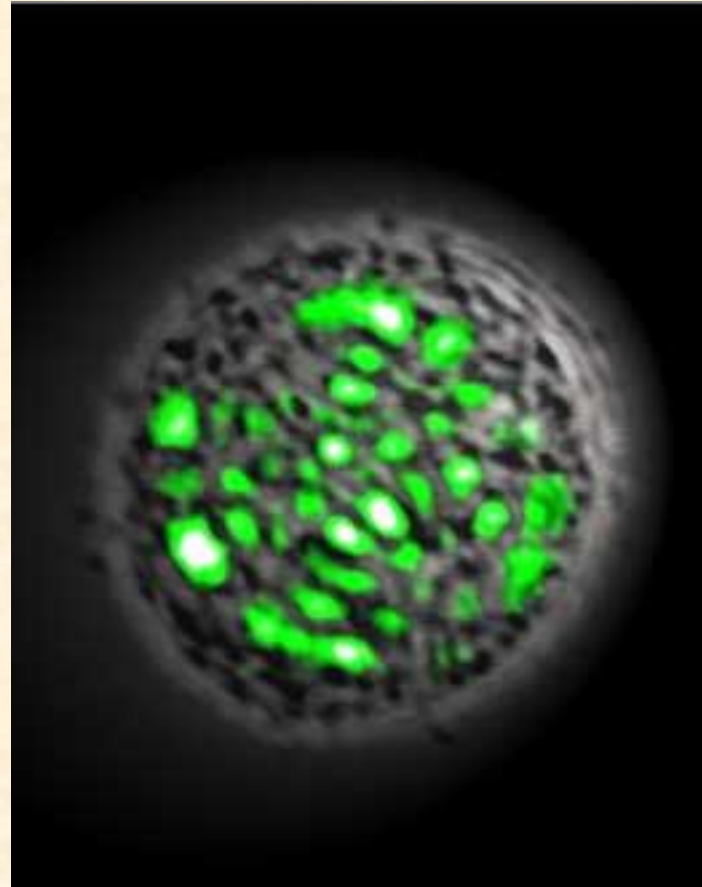
Nicolas Delerue, LAL Orsay



Ecole du détecteur à la mesure 2011:  
LASERS

# Laser vivant

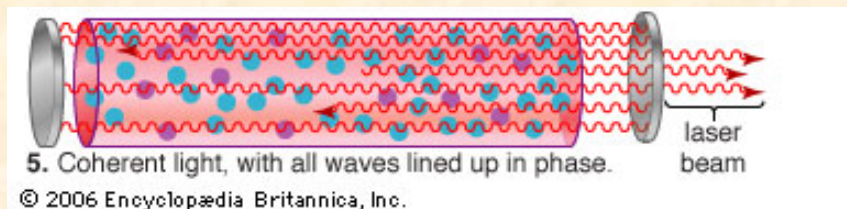
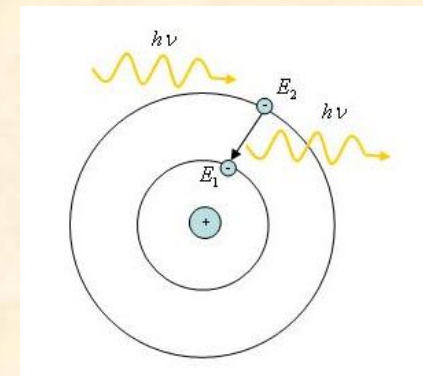
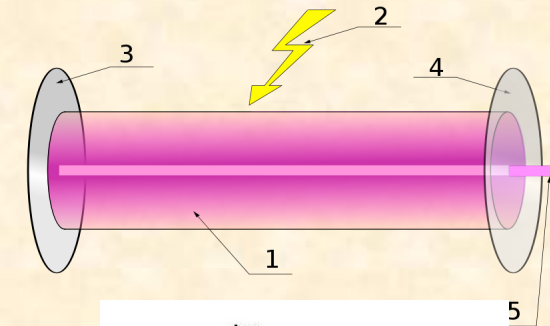
- Selon un article publié cette semaine dans nature il est même possible de créer un laser avec des cellules vivantes.
- Ces cellule ont été modifiées génétiquement pour produire de la fluorescence.  
=> Il est possible de créer une inversion de population  
=> émission stimulée.



<http://www.nature.com/news/2011/110612/full/news.2011.365.html>

# Résumé général

- LASER = Light Emission by Stimulated Emission of Radiation
- Pour obtenir une émission stimulée, il faut créer les bonnes conditions: pompage, inversion de population, bonne cavité,...
- Les longueurs d'ondes disponibles sont limitées par les transitions atomiques existantes mais certaines opérations (ex: doublement) sont possibles.
- Il est possible de créer des impulsions laser très courtes avec une puissance très importante.
- Depuis la première réalisation les lasers ont trouvé de nombreuses applications, à la fois dans notre vie courante et en physique (des particules).
- Certains lasers ont un prix très bas, mais les lasers les plus avancés sont des objets de haute technologie complexe à utiliser et coûtant très cher...
- Dans tous les cas, soyez prudent en utilisant un laser!



# Bibliographie

- Encyclopedia of laser physics and technology, R. Paschotta, <http://www.rp-photonics.com/> (en anglais)
- A. Siegman, « LASERS » (en anglais)
- S. Hooker, C. Webb, « Laser Physics », (en anglais)
- B. Cagnac et J.P. Faroux, *Lasers* (CNRS Editions, en français)