

Une selection d'applications des lasers

J. Arianer

▶ **To cite this version:**

J. Arianer. Une selection d'applications des lasers. 2002. in2p3-00021510

HAL Id: in2p3-00021510
https://cel.hal.science/in2p3-00021510

Submitted on 17 Dec 2002

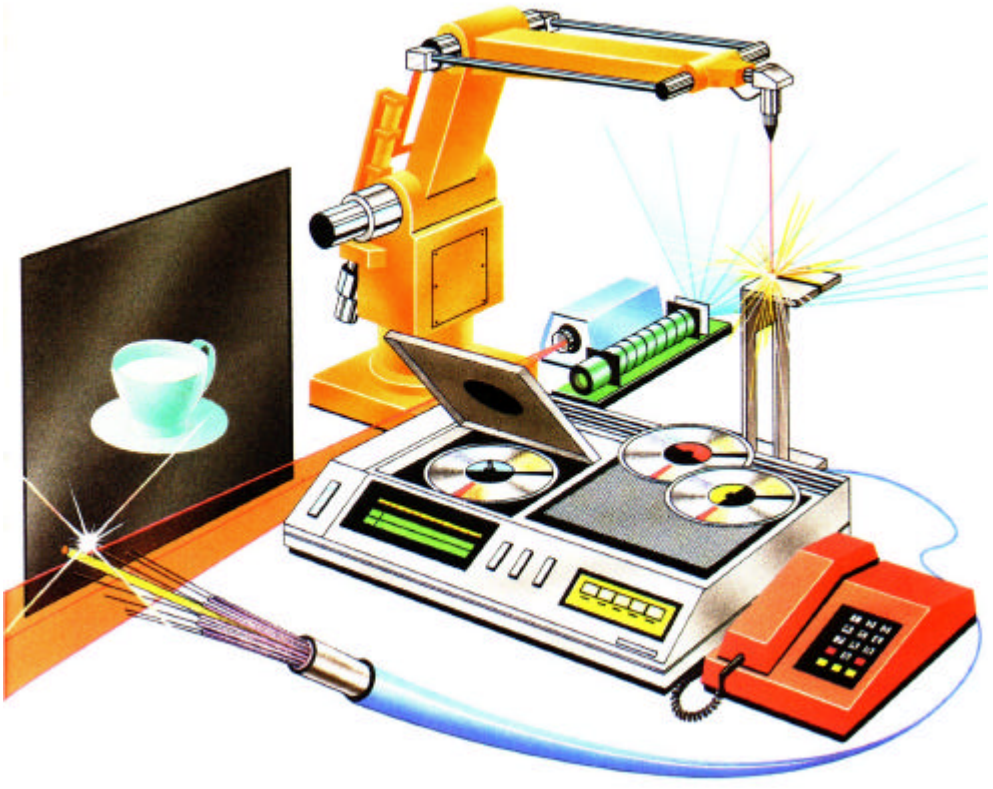
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Formation permanente CNRS

Une Sélection d'

Applications des Lasers



J. ARIANER-Bat106-IPN-0169157484

Applications des lasers

Innombrables et Crescendo!!

Grand Public

- Télécommunications
- Chirurgie
- Imagerie
- Reprographie
- Codes-barres
- CD
- Spectacles

Industrie

- Perçage
- Soudure
- Marquage
- Découpage
- Télémétrie
- Nivelage
- .....

Recherche

- Fusion inertielle
- Accélération Plasma
- Séparation isotopique
- Sources d'ions
- Spectroscopie
- .....

J.A.

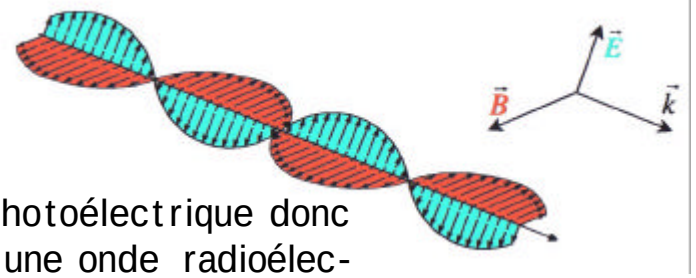
IPN Orsay

Propriétés du laser

Il émet une lumière monochromatique spatiallement et temporellement cohérente ce qui permet une forte directivité du faisceau lumineux et la possibilité de le focaliser finement (moins du micron):

le laser est un outil de précision.

N'oublions pas que la lumière a deux aspects: granulaire et ondulatoire.

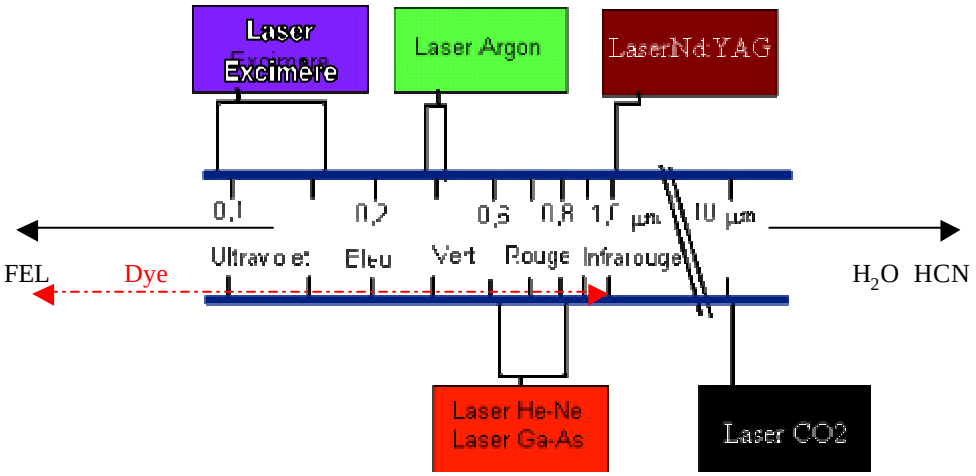


Elle peut produire de l'effet photoélectrique donc induire un courant. C'est aussi une onde radioélectrique qui peut produire des interférences.

Elle peut se propager sous vide. Elle véhicule de l'énergie que l'on peut concentrer:

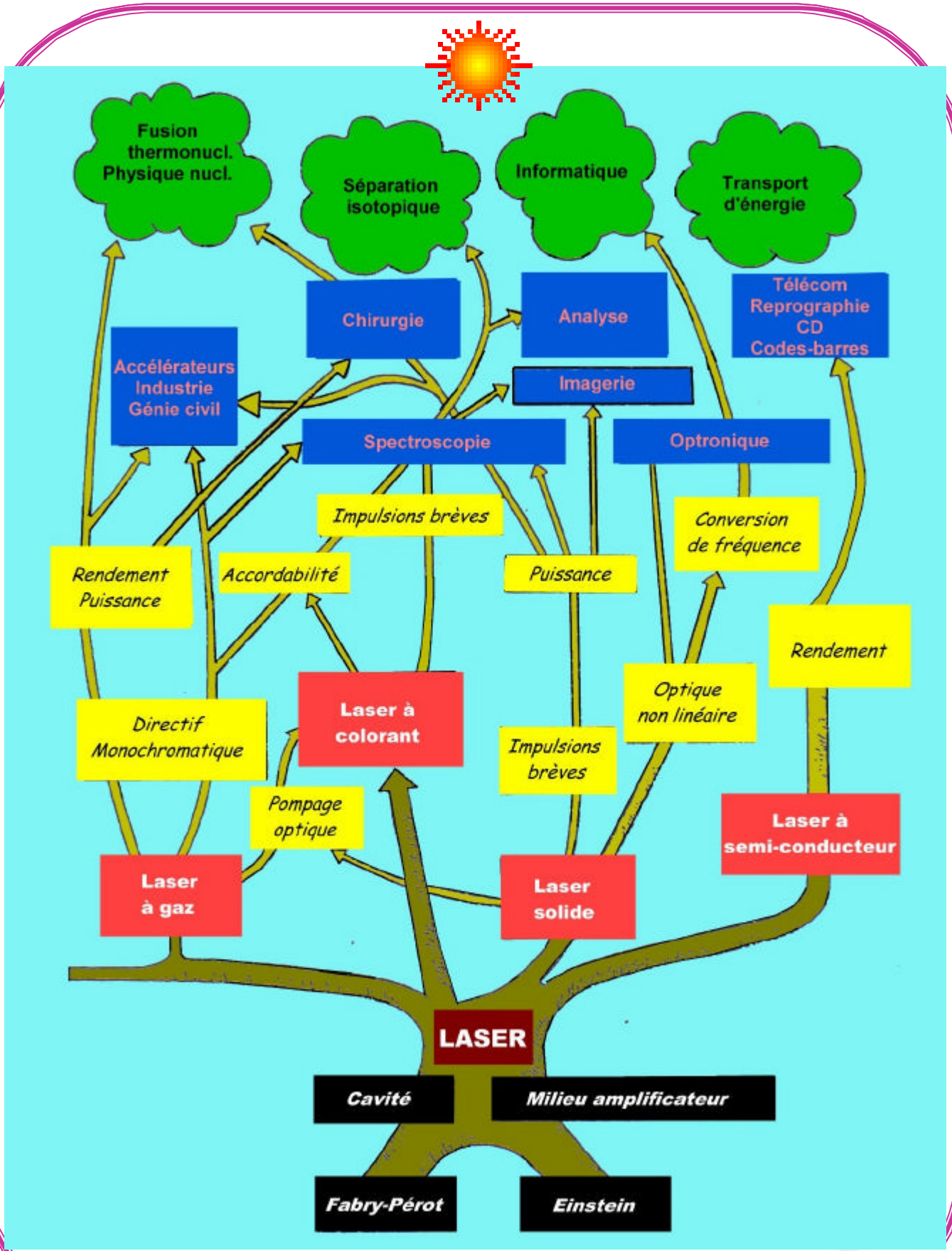
le laser est un outil énergique, capable de fournir de grandes densités de puissance.

Et ce avec une large palette de longueurs d'onde:



On consultera avec profit le site
http://www.phys.ksu.edu/perg/vqm/laserweb

J.A.


Fusion thermonucl. Physique nucl.
Séparation isotopique
Informatique
Transport d'énergie
Chirurgie
Analyse
Télécom Reprographie CD Codes-barres
Accélérateurs Industrie Génie civil
Imagerie
Spectroscopie
Optronique
Impulsions brèves
Conversion de fréquence
Rendement Puissance
Accordabilité
Puissance
Rendement
Optique non linéaire
Directif Monochromatique
Laser à colorant
Impulsions brèves
Pompage optique
Laser à semi-conducteur
Laser à gaz
Laser solide
LASER
Cavité
Milieu amplificateur
Fabry-Pérot
Einstein

J.A.

Cyclage

Selon le type du laser ou l'application, le faisceau lumineux délivré peut être continu ou pulsé. Selon le mode de fonctionnement, les impulsions ont des durées variables de 0.1fs à quelques ms, avec des cadences allant du coup/jour jusqu'au MHz.

Mode continu:

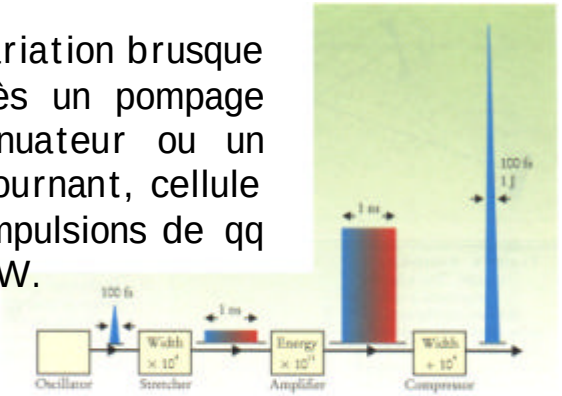
A part les lasers à rubis et au verre dopé, tous les lasers peuvent fonctionner en continu. Ce mode est sujet aux instabilités et à la dérive de puissance de sortie.

Mode impulsionnel:

Il est obtenu par pulsation du pompage. Les durées d'impulsion sont de 100µs à 10ms (1µs pour le CO_2TEA). Il y a souvent une sous-structure liée à une relaxation de l'émission (mode relaxé).

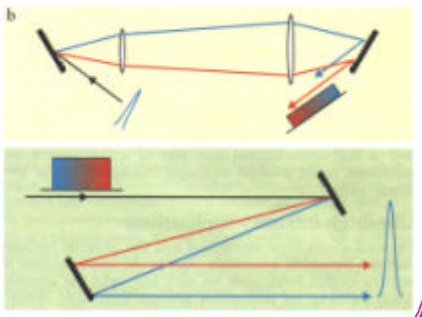
Mode déclenché:

L'autorisation d'émission est donnée par variation brusque du Q de la cavité (« Q-switch ») après un pompage suffisant. Le déclencheur est un atténuateur ou un obturateur placé dans la cavité (miroir tournant, cellule de Pockel ou de Kerr…). On obtient des impulsions de qq ns et des puissances crêtes de plusieurs TW.



Modes couplés:

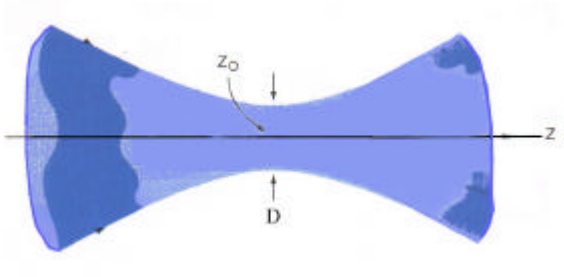
Une modulation de fréquence d'accord d'un élément de cavité peut imposer une relation de phase entre des modes adjacents (« mode locking »). L'impulsion déclenchée peut descendre sous la fs et la puissance crête atteindre le PW avec compression-expansion (« chirped lasers »)..



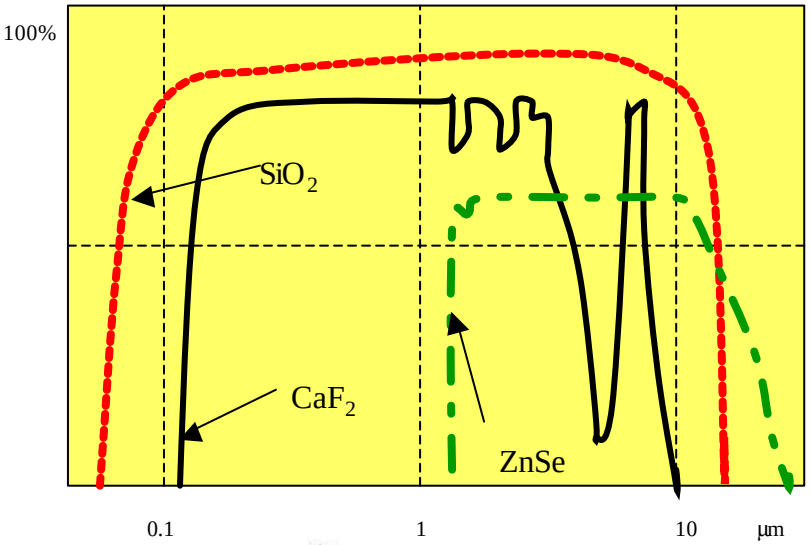
J.A.

Focalisation

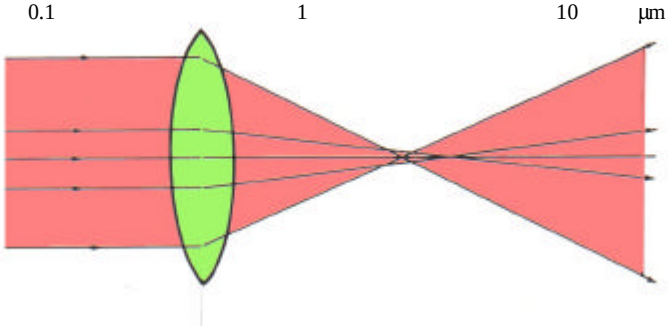
La lumière laser est généralement utilisée après focalisation. Le diamètre D du « cercle de moindre confusion » ou « cross-over » est, au minimum, de l'ordre de la longueur d'onde, c'est-à-dire submicronique. Avec de grands angles de convergence, on obtient une profondeur de champ très faible, ce qui justifie la notion de ponctualité de son action et joue un rôle très vital, par exemple, pour la lecture des CD.

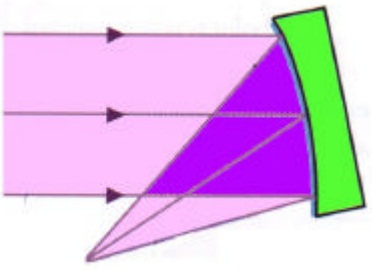


Cette focalisation de la lumière laser est obtenue soit par lentilles avec l'inconvénient de l'absorption et des aberrations, soit par miroirs sphérique ou parabolique.



En fonction de la longueur d'onde à focaliser, on choisit le matériau de lentille ayant la meilleure transmission. Par exemple, l'IR nécessite soit du ZnSe, soit du Ge ou du ClNa.





ATTENTION AUX IMPULSIONS GEANTES!!

J.A.

Principaux lasers

La variété est extrême et croît journellement, du plus petit qui tient dans la main au géant de la fusion qui tient à peine dans un hall de gare. Nous allons décrire les principaux lasers appliqués.

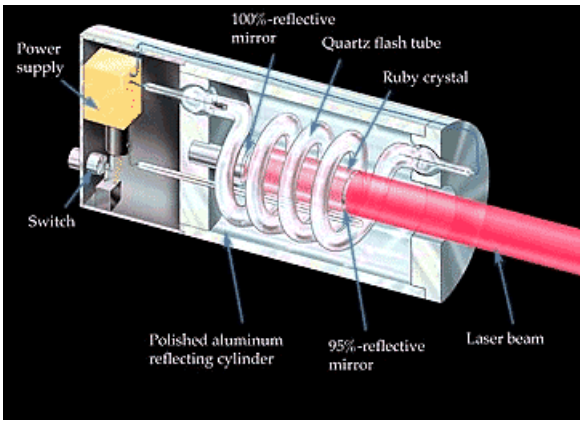
LASERS à SOLIDE (ou à ISOLANTS DOPES)

Le pompage optique est obtenu par des lampes ou des diodes lasers et les atomes excités sont sous forme d'ions métalliques et de terres rares dans un cristal ou un verre.

Le laser à rubis

Le milieu actif est un cristal de corindon (alumine) dopé au Cr^{3+}. Il émet 2 raies à 694.3 et 692.7nm. Il ne fonctionne pas en continu.

Il délivre quelques dizaines de J pour des pulses d'≈1ms en mode relaxé. En mode déclenché, on obtient des pulses de ≈30ns avec des cadences à l'échelle du Hz.



Le laser Nd:YAG

Prépondérant dans les applications, les ions Nd^{3+} dopent un grenat d'yttrium-aluminium ($Y_3Al_5O_{12}$).



L'émission principale est à 1064.1nm dans le proche infrarouge.

On atteint jusqu'au kW en continu. En mode déclenché, il fournit des pulses d' ≈200ns, l'énergie délivrée va de quelques mJ à 10kHz à 10J à 0.1Hz.

J.A.

Le laser verre:Nd

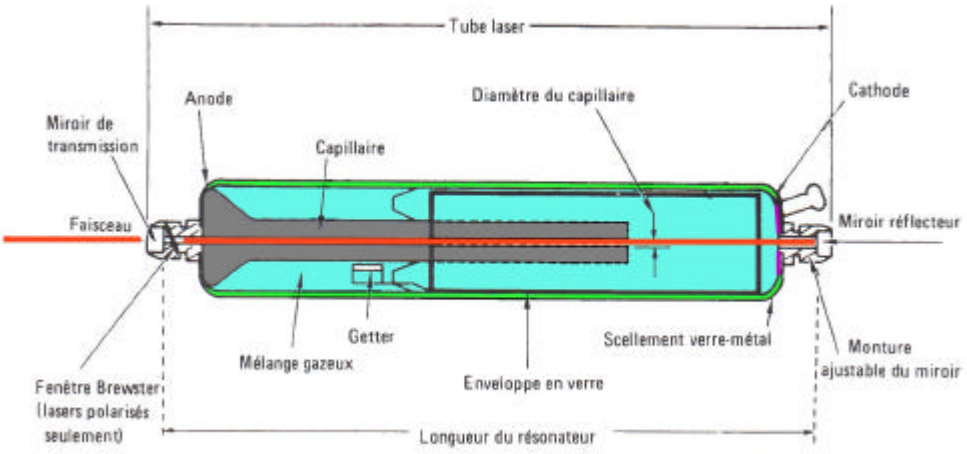
Son intérêt réside dans les puissances extrêmement élevées qu'il peut délivrer. La matrice est un verre à base de SiO_2, B_2O_3 et P_2O_5. On sait faire des barreaux d'1m de long et de 10cm de diamètre, d'où son emploi dans les lasers géants. Il émet à 1061 ou 1054nm selon le verre. En mode déclenché, il délivre des impulsions de 15 à 20ns de quelques centaines de J à 0.01Hz. En simple barreau amplificateur, le verre:Nd devrait permettre d'atteindre les MJ.

LASERS à GAZ

Le pompage optique est obtenu soit par décharge électrique soit par réaction chimique exothermique dans un milieu gazeux atomique, moléculaire ou ionisé.

Le laser He-Ne

C'est de loin le plus répandu. Dans un mélange d'hélium et de néon dans un rapport 10 à quelques hPa, on établit une décharge CW ou RF. Avec des miroirs traités, l'émission est dans le rouge à 632nm.

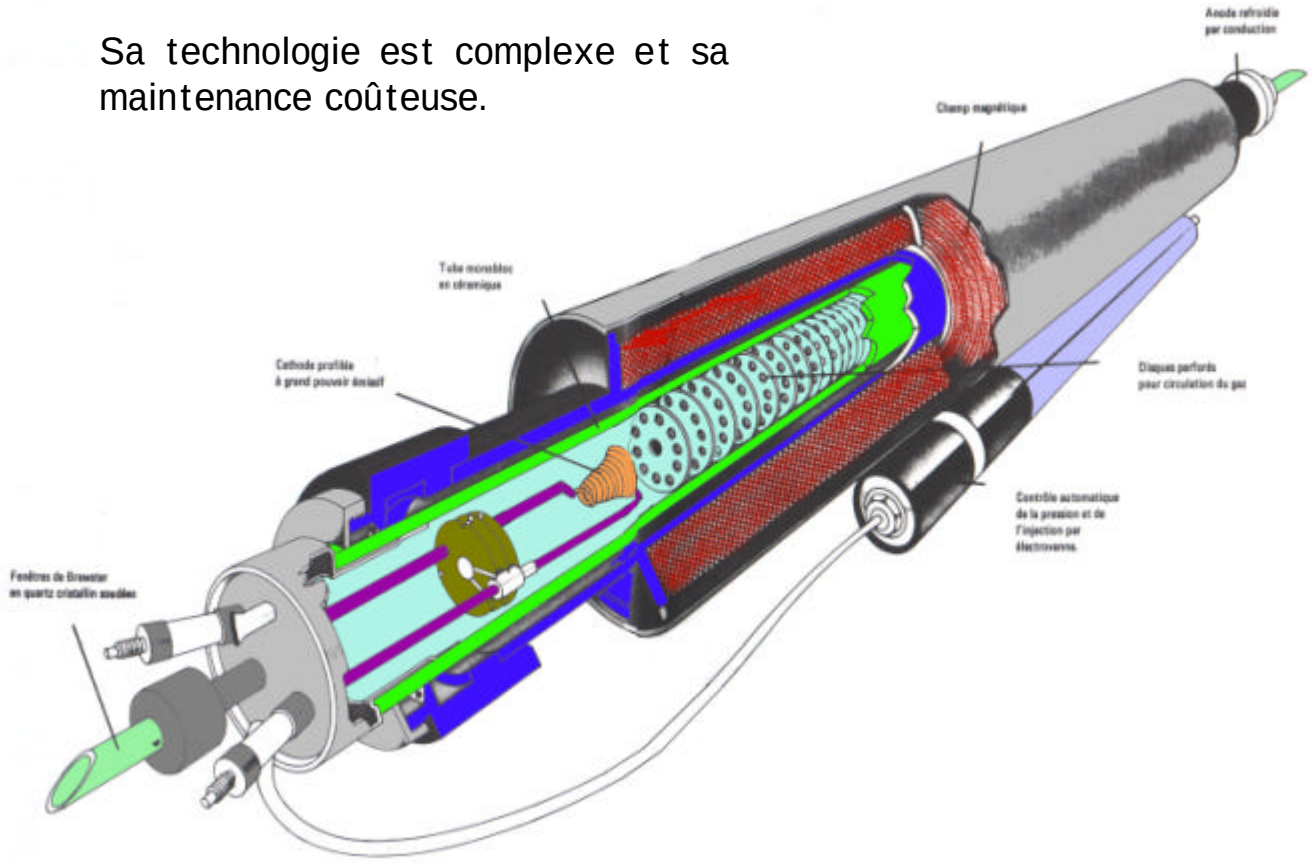


En général scellés, ces lasers fonctionnent en continu avec des puissances allant de 1mW à 80mW avec des durées de vie de quelques années.

Le laser à argon ionisé

Ses émissions se font principalement sur 2 raies: 488nm dans le bleu et 514.5nm dans le vert. L'insertion d'un prisme de Littrow permet de sélectionner une raie active. La puissance de sortie typique est de 5W sur une raie.

Sa technologie est complexe et sa maintenance coûteuse.



Le laser au krypton ionisé

Si les autres lasers à gaz rare ionisé fonctionnent généralement en pulsé, le laser au krypton peut fonctionner en continu. Il émet quelques centaines de mW sur 4 raies principales: 647.1nm, 568.2nm, 520.8nm et 476.2nm. On peut mélanger argon et krypton dans un même tube pour avoir un laser polychrome.

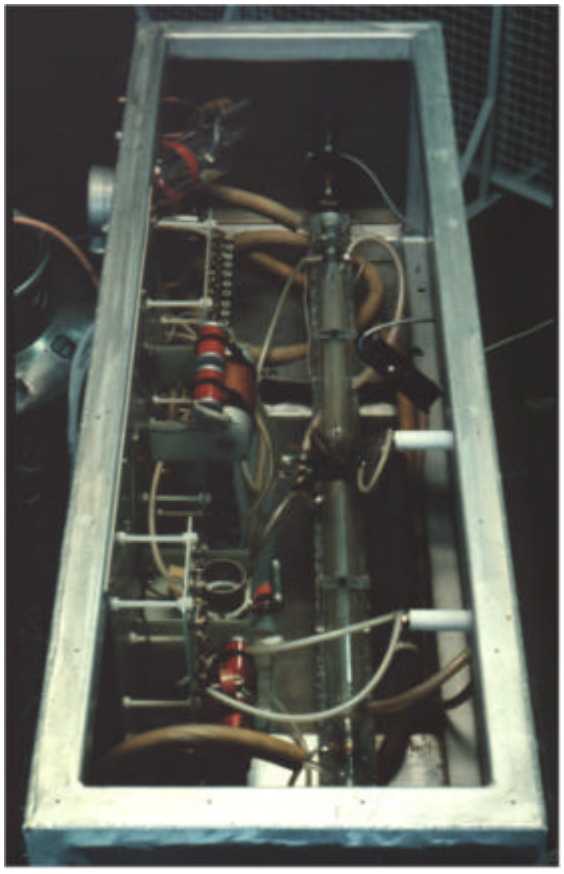
J.A.

IPN Orsay

Le laser CO_2

C'est le plus important des lasers à gaz, extensivement utilisé dans l'industrie et la recherche. A partir d'un mélange 15%CO_2, 15%N_2 et 70%He avec une pression totale de quelques dizaines d'hPa, on l'utilise sur la raie d'émission infrarouge principale de 10.6µm. De la fraction de watt à 100kW continus, il peut fonctionner dans tous les modes. De technologie simple, il nécessite un dispositif palliant la décomposition de la molécule de CO_2 par la décharge.

Quand il est scellé, un catalyseur inverse régénère le CO_2, ce qui permet, avec un bon refroidissement d'atteindre la barre des 50W.

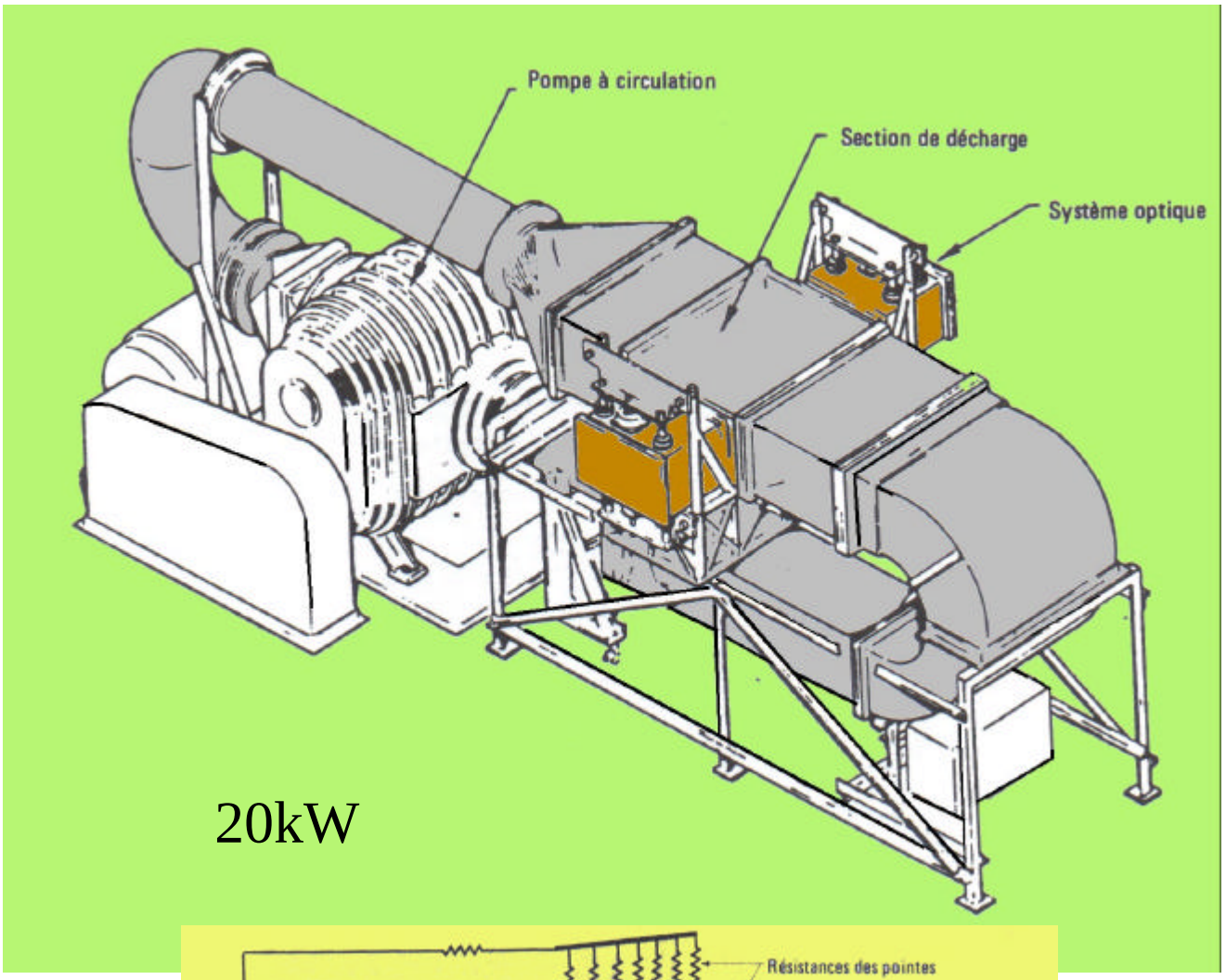


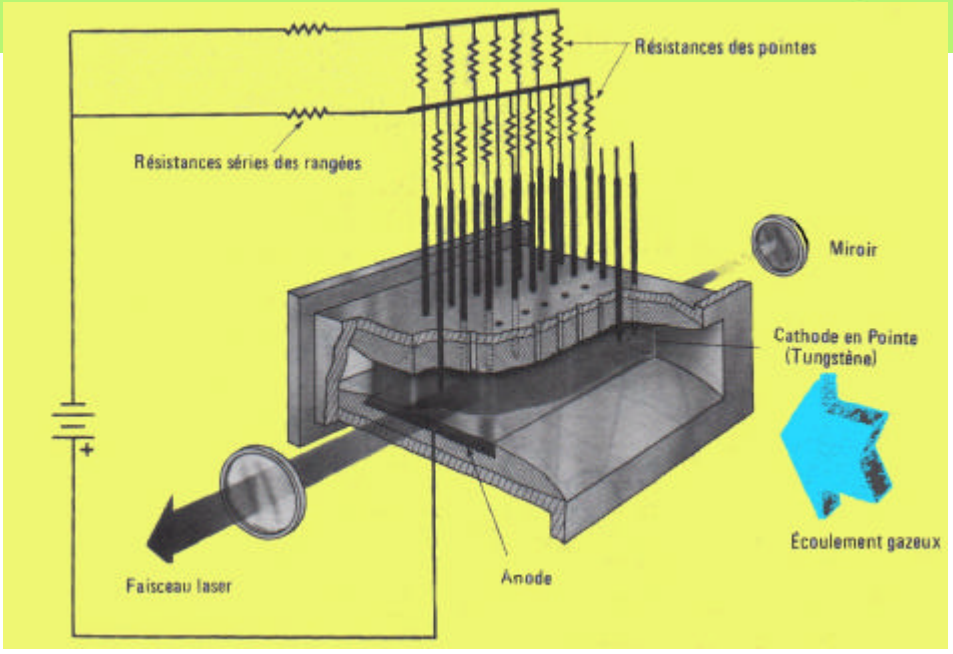
Les lasers à flux dynamisé par un recirculateur permettent d'atteindre les plus fortes puissances continues. En flux axial, on atteint 2kW. Si le flux gazeux est normal à la décharge, l'écoulement peut être plus rapide, on arrive à des rendements de 1kW par litre de mélange au prix d'une complexité accrue du refroidissement du mélange et de la forme des électrodes de décharge, mais la puissance moyenne atteint 100kW (400 pendant quelques instants!!).

Le laser TEA (« Transversally Excited Atmospheric») travaille à des pressions allant de 0.1 à 10bars.

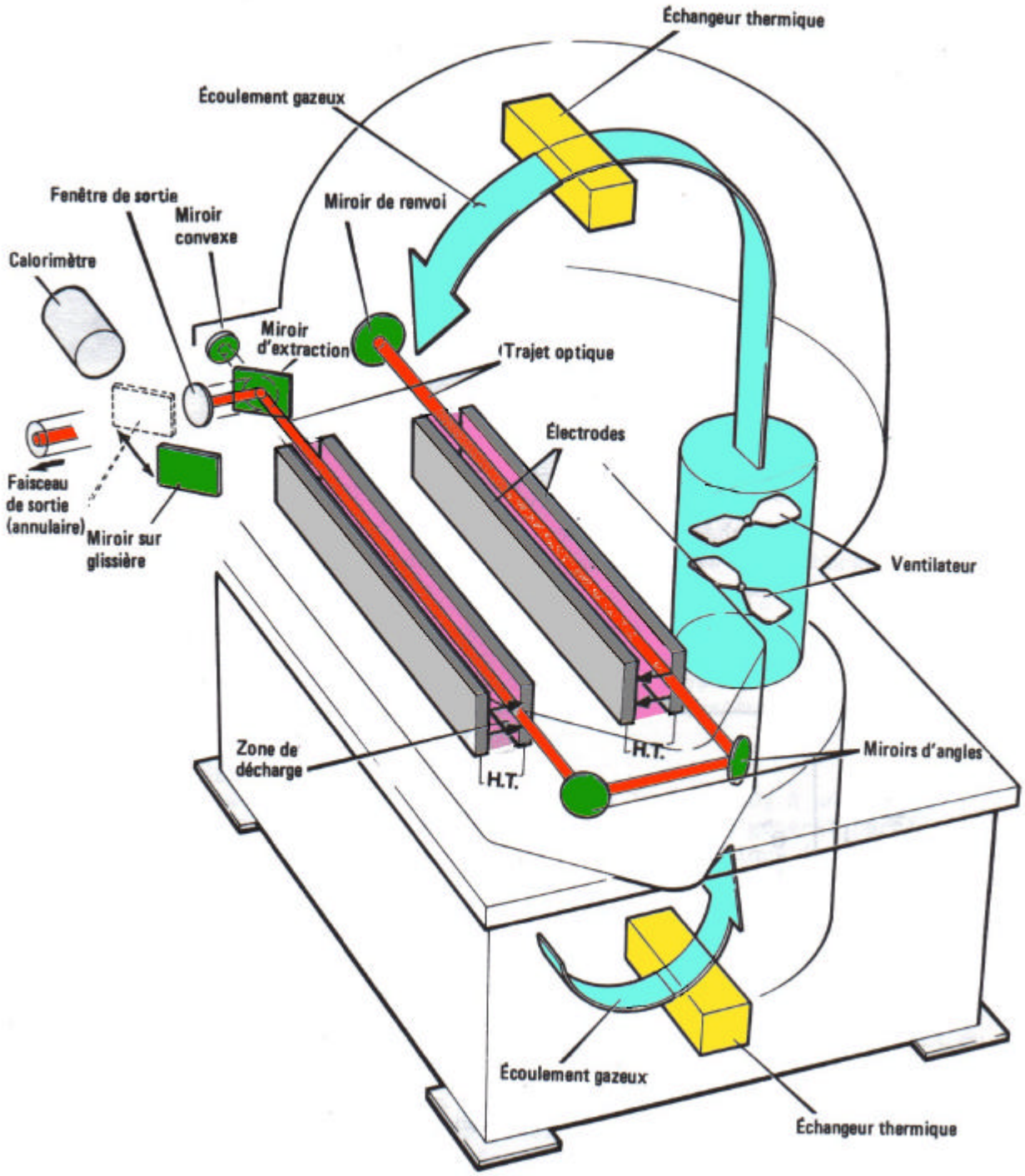
Il peut générer des impulsions brèves de 10ns à 10µs avec des puissances crête > 10MW.

J.A.


Pompe à circulation
Section de décharge
Système optique
20kW


Résistances des pointes
Résistances séries des rangées
Miroir
Cathode en Pointe
(Tungstène)
Écoulement gazeux
Faisceau laser
Anode

J.A.


Échangeur thermique
Écoulement gazeux
Fenêtre de sortie
Miroir convexe
Miroir de renvoi
Calorimètre
Miroir d'extraction
Trajet optique
Électrodes
Faisceau de sortie (annulaire)
Miroir sur glissière
Ventilateur
Zone de décharge
H.T.
H.T.
Miroirs d'angles
Écoulement gazeux
Échangeur thermique

5kW

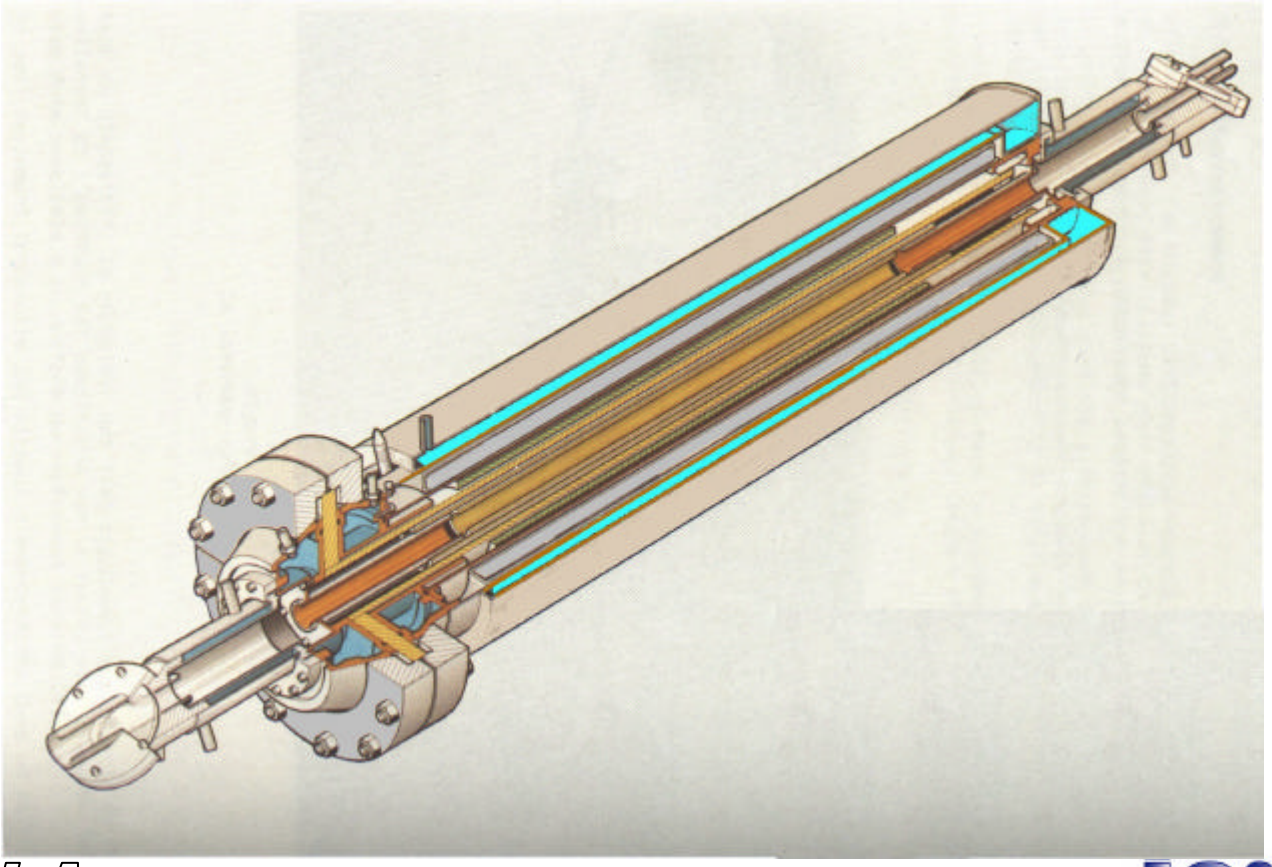
J.A.

Le laser à excimères

C'est un laser à émission ultraviolette à rendement élevé. Le milieu actif est un dimère excité (« excited dimers ») du type halogénure de gaz rare. Les 2 excimères les plus utilisés sont KrF qui émet à 248nm et XeCl à 308nm pour le pompage de lasers à colorants. Ils peuvent fournir 15J et des puissances moyennes de 100W à 1kHz ou 25MW crête.

Le laser à vapeur de cuivre

Une décharge longitudinale dans un tube chaud contenant de la vapeur de cuivre et un gaz rare permet d'obtenir une émission laser sur 2 raies: 510 et 578nm. Il peut fonctionner à 10kHz avec des puissances moyennes de 100W et une excellente densité de puissance volumique. On les utilise pour le pompage des lasers à colorants et le perçage.



J.A.

LASERS à COLORANTS (« DYE »)

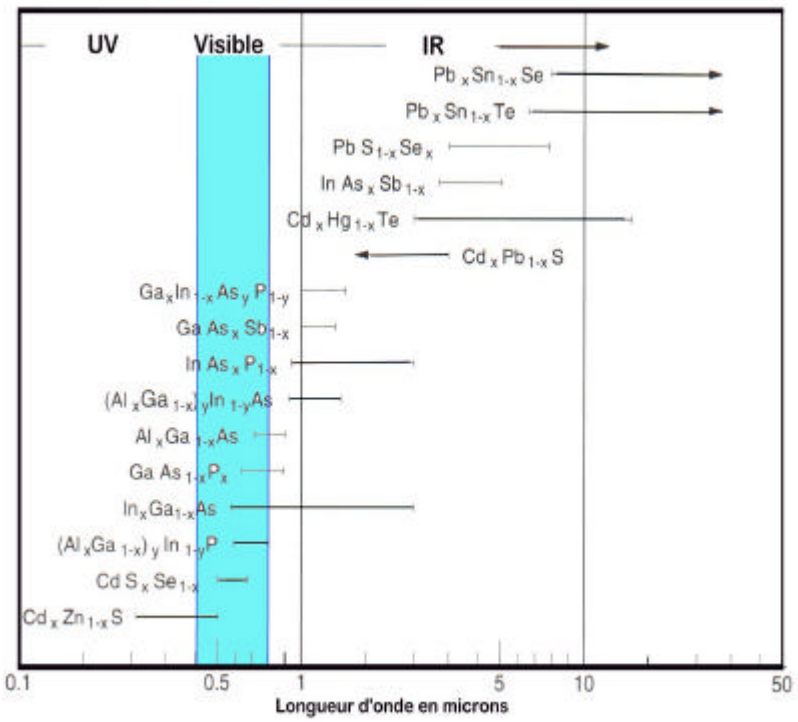
La multiplicité des niveaux de rovibration de nombreux colorants organiques permet d'obtenir une fluorescence sur une large bande. Ceci permet l'accordabilité de l'émission laser, phénomène vital pour la photoionisation résonante, la séparation isotopique et la spectroscopie. En changeant de colorant, on peut couvrir la gamme de 100 à 1200nm, les performances dépendent beaucoup du mode de pompage optique: de 500mJ par impulsion de 1µs à 100Hz avec des lampes flash on passe à 100mW continus dans le rouge avec un laser pompe du type argon de 4W. En général, on dispose de 25% de la puissance du laser pompe. Le colorant (par ex. la rhodamine et la coumarine) est dilué dans un solvant (eau, alcool,...).

LASERS à SEMI-CONDUCTEURS

L'émission lumineuse est engendrée au sein d'une jonction p-n dans une diode à semi-conducteur, en général un composé III-V (GaAs). La longueur d'onde émise dépend de ce composé et l'on sait couvrir la gamme 300nm-30µm.

Les diodes lasers peuvent être très compactes et aisément modulables en intensité d'où leur utilisation intensive dans les applications grand public (reprographie, CD, codes-barres, télécommunications,...).

Elles ont un bon rendement énergétique et un faible coût mais une cohérence médiocre.



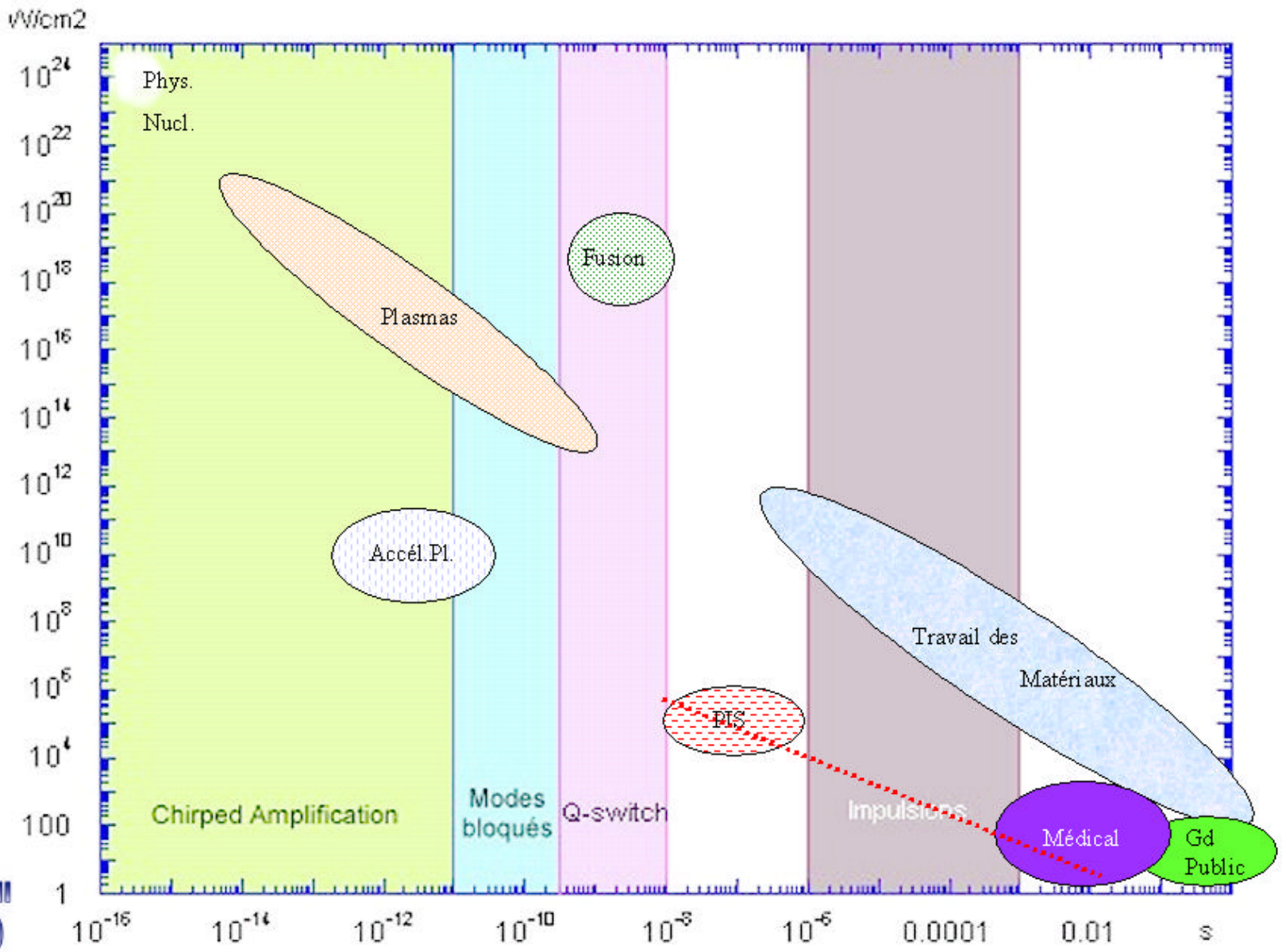
Notions sur l'interaction Laser-Matière inerte

La dualité onde électromagnétique-corpuscule du photon doit toujours être présente en mémoire pour comprendre les différents phénomènes intervenant au fur et à mesure que l'on accroît la «fluence » (densité surfacique d'énergie en J/cm^2) ou le « flux » (densité surfacique de puissance en W/cm^2).

Toute matière absorbe et réfléchit plus ou moins la lumière et ce fonction principalement de la longueur d'onde. Comme le faisceau laser est focalisé longitudinalement en un point précis et que d'une façon générale, l'absorption est superficielle pour la matière opaque que nous considérons ici, l'interaction est ponctuelle. Cette absorption se traduit par un dépôt d'énergie qui peut accroître les vibrations des atomes de la matière et l'énergie cinétique des électrons de la bande de conduction (effet thermique) ou libérer des particules (vaporisation, effet photo-électrique et photochimique, production de plasma, de paires électron-positron…). La lumière incidente peut ressortir de la matière en voyant sa fréquence modifiée (diffusions Raman, Rayleigh, Brillouin). Au-delà de $10^{15} W/cm^2$, les atomes eux-mêmes sont perturbés (ionisation profonde, fusion, réactions nucléaires…) du fait de l'action du champ électrique ultra intense associé (>GV/m).

Ces processus diffèrent selon le temps d'interaction. En gros, pour des impulsions longues ou en continu, avec des flux modérés, l'effet thermique est utilisé dans les applications industrielles. En impulsions brèves (≈ 1ns) et ultrabrèves (<ps), l'interaction produit une onde de choc dans la matière générant un plasma avec lequel l'onde électromagnétique réagit, c'est plutôt le domaine des applications scientifiques.

J.A.


W/cm2
10^{24}
10^{22}
10^{20}
10^{18}
10^{16}
10^{14}
10^{12}
10^{10}
10^{8}
10^{6}
10^{4}
100
1
Phys.
Nucl.
Plasmas
Fusion
Accél.Pl.
Travail des
Matériaux
PIS
Chirped Amplification
Modes
bloqués
Q-switch
Impulsionnel
Médical
Gd
Public
10^{-16}
10^{-14}
10^{-12}
10^{-10}
10^{-8}
10^{-6}
0.0001
0.01
s

Où les emploie-t'on?

On ne peut dresser une liste exhaustive dans le temps imparti. On peut se référer à la bibliographie jointe et aux sites WEB http://www.cea.fr/Fiches/Laser/Coher.htm (d'où sont extraits les tableaux suivants) et http://vigie.adepa.asso.fr/services/vip/Theme4/typlaser.htm. La dynamique de développement est telle que ces chiffres sont certainement dépassés.

Nettoyage et préparation de surface **(par exemple, décapage aux lasers des monuments historiques)**	Puissances crêtes de l'ordre de 10^7 à 10^8 W (pour des puissances de 10 à 20 W pour les lasers YAG, par exemple)	**Impulsionnel** (très courtes impulsions : quelques dizaines à quelques centaines de nanosecondes)	Lasers excimères ou laser YAG *Ce procédé permet d'éliminer totalement ou de façon sélective des couches surfaciques recouvrant différents matériaux sans les altérer en dessous, en concentrant le faisceau laser sur les zones à décaper.*
Procédé d'enrichissement de l'uranium par lasers	Quelques centaines de watts	**Impulsionnel**	Lasers à vapeur de cuivre pompant des lasers à colorant. (lasers discontinus : 5000 impulsions/seconde)
Soudage des métaux	Quelques dizaines de watts à 50 kW Puissance selon l'épaisseur	**Continu ou impulsionnel**	Lasers YAG (100 W à 2 kW) Lasers CO_2 (100 W à 50 kW)
Découpage de matériaux tels que le bois, le plexiglass ou les métaux.	1 à 3 kW	**Continu ou impulsionnel**	
Lasers de puissance de recherche	Quelques térawatts	**Impulsionnel**	

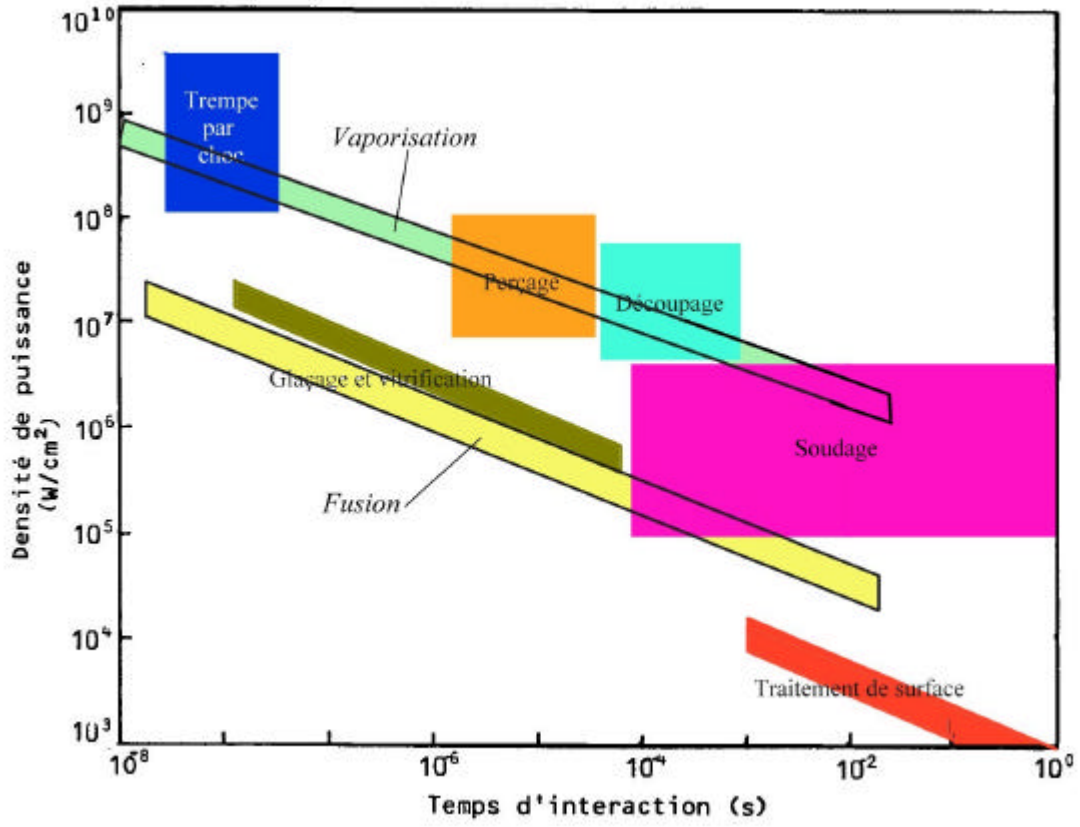
J.A.

Utilisation	Puissance	Mode de fonctionnement	Remarques générales
Lecture des disques compact **Lecture des codes barres** dans les supermarchés	Quelques mW	**Continu**	Petites diodes lasers qui s'intègrent dans les appareils comme des composants électroniques ordinaires
Lasers d'alignement pour les travaux publics ou les carrossiers... **Guidage d'engins de travaux publics**	Environ 10 mW	**Continu**	Petits lasers (par exemple, lasers hélium-néon)
Lasers de transport des télécommunications	Quelques dizaines de mW	**Continu ou impulsionnel**	Petites diodes lasers. *Ces faisceaux laser sont transportés à travers toute la planète et sur de très longues distances le long de fibres optiques tendues sous terre ou dans la mer.*
Discothèques, **Spectacles lasers**	Quelques watts	**Continu**	Lasers à argon ou à hélium-néon, par exemple.
Applications médicales *Chirurgie interne* : Opérations sans ouvrir le corps *Chirurgie externe* : Soins de l'oeil (décollements de rétine), Soins des dents (caries), bistouri...	Puissance, fonction des applications	**Continu ou impulsionnel**	Lasers YAG ou lasers à CO_2. *Les lasers utilisés pour des applications médicales sont assez puissants. Ils peuvent brûler une partie endommagée dans le corps, souder la rétine sur l'oeil ... Mais attention, le médecin ou le dentiste doivent avoir la main sûre. Cependant, aucun autre intrument ne permet une intervention aussi précise.*

J.A.

1-Le Travail des Matériaux

Le laser est capable d'apporter une quantité d'énergie considérable, aisément contrôlable, sur une surface faible, bien délimitée, à la pression atmosphérique et sur quasiment toute matière. Il n'exerce pas d'effort sur le matériau traité.



Ce diagramme montre qu'en jouant sur le temps d'interaction et le flux, on peut réaliser tous les types de traitement des matériaux.

Plutôt que de vouloir donner une liste exhaustive de toutes les applications dans ce domaine, on va se limiter à quelques cas très typiques:

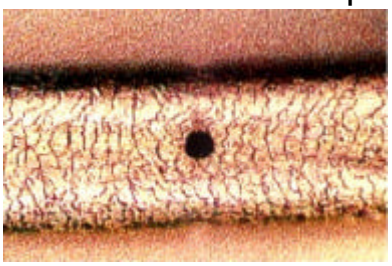
J.A.

a) En ***soudage***, sans apport de matière, avec un laser de quelques centaines de W de puissance moyenne, on peut souder des tôles d'acier de 0.5mm à 5m/mn, très utile pour la fermeture hermétique des boîtes de conserve ou les soudures de jantes.

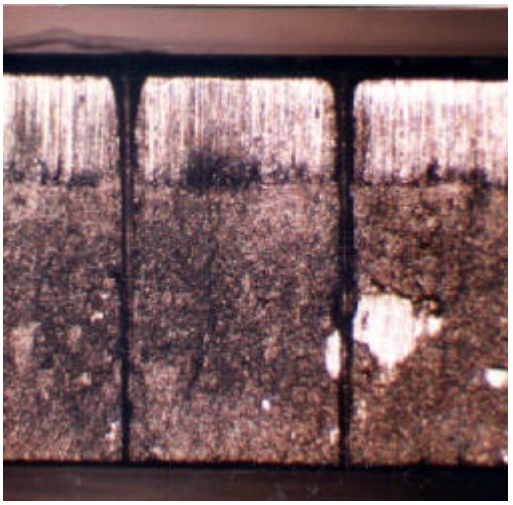
A 6kW, on soude des tôles de 8mm d'épaisseur à 1m/mn et des liaisons circulaires sur des pignons de boîte de vitesse sur 4mm à 4m/mn, sans contrainte thermique déformante. A 100kW, on atteint 5cm. Les soudures présentent un bourrelet. Ces performances concurrencent la soudure par bombardement électronique qui nécessite un travail sous vide mais qui permet d'atteindre plus de 500kW.

En impulsions de quelques J, on fait les soudures par point requises par la micro-circuiterie.

b) En ***perçage***, c'est la puissance crête du laser qui est privilégiée parce que le processus de base est, le plus souvent, une ablation c'est-à-dire une sublimation. On sait faire des trous de 0.1mm aussi bien dans le diamant que sur du papier à cigarette, dans des métaux ou des isolants, en biais, par l'intérieur. Le diamètre du trou est lié à sa profondeur de par la focalisation.



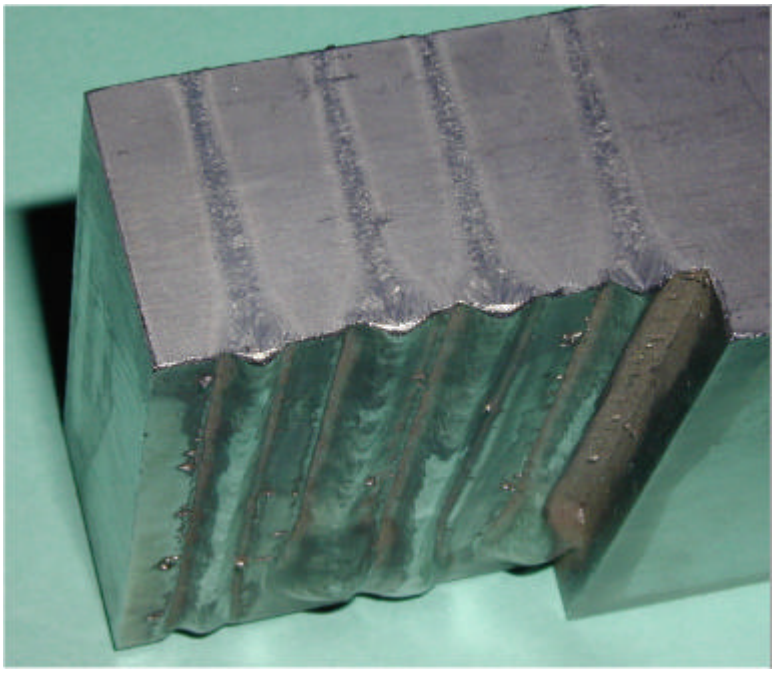




J.A.

IPN Orsay



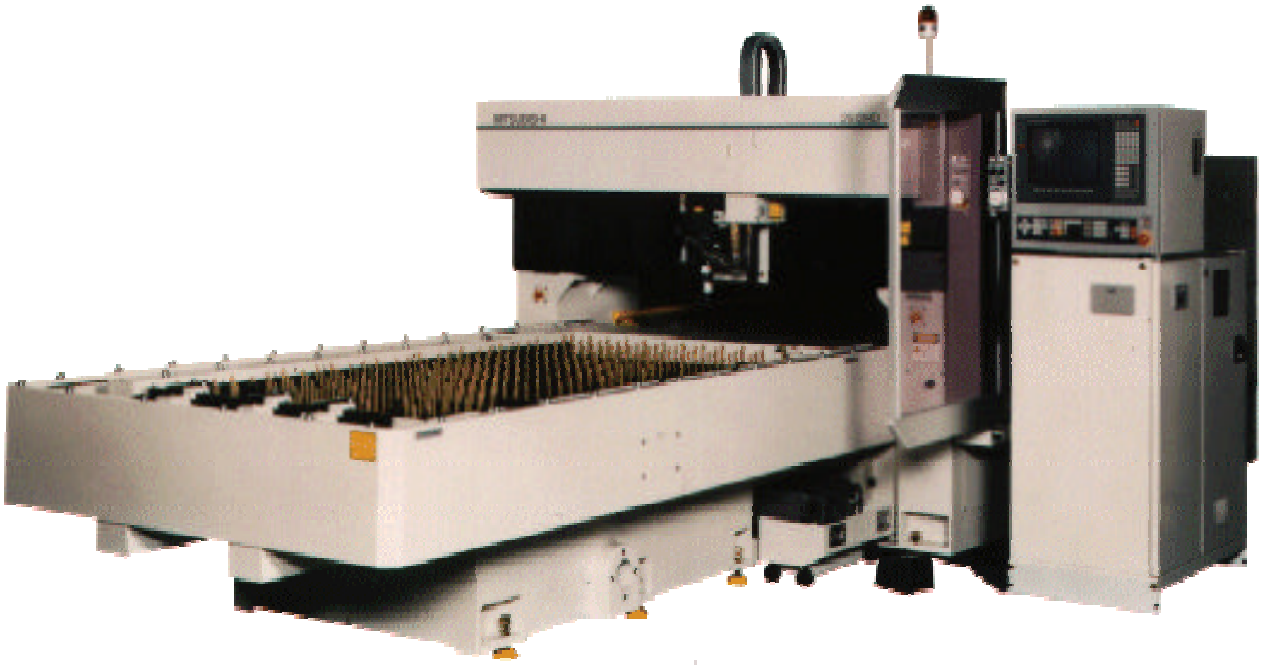


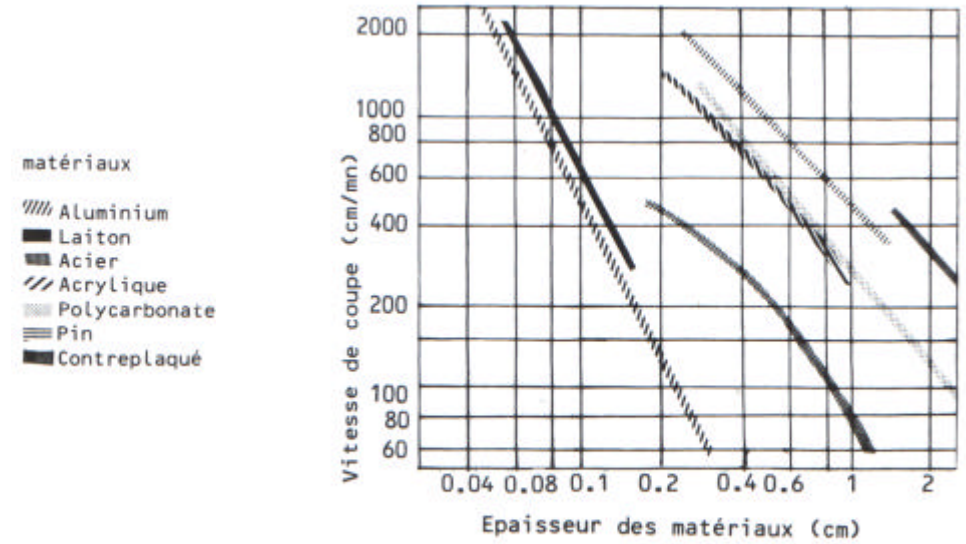
J.A.

La qualité de l'usinage n'est pas toujours très bonne et les trous présentent des bourrelets d'entrée mais les cadences de perçage peuvent être très élevées, ce qui est important, par exemple, pour la fabrication des masques d'écrans de télévision.

c) La ***découpe laser*** a créé une révolution dans de nombreux secteurs grand public. Avec moins de 500W, une table à découpe numérique, souvent un gaz d'apport injecté en ligne avec le faisceau, on peut découper des pièces minces de toute matière, avec des contours complexes, avec grande précision, sans contact, sans finition. A 15kW, on découpe 1cm de métal à plus de 2m/mn.

De la découpe des patrons en prêt-à-porter à celui du cuir en maroquinerie ou dans la chaussure, du plastique des cartes géographiques au tissu des laizes de voiles, sans effilochage, à 80m/mn en passant par les tôles d'importance en aéronautique, avec possibilité de perçage simultané, le laser a permis des réductions de coût drastiques et des formes de découpe irréalisables par une autre voie.



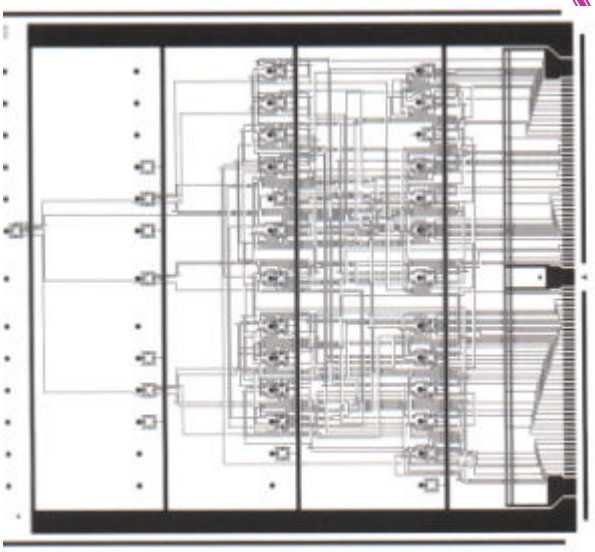


Laser CO_2 de 1200 W

	Epaisseur (mm)	Puissance laser (W)	Vitesse de coupe (m/mn)	Gaz d'assistance
Verre	2	350	7,5	Air
	3,2	5000	45	Air
Quartz	3,2	500	7,5	-
Céramique	6	850	0,5	N_2
Alumine (99,5 %)	0,6	250	1,3	N_2
Papier	0,05	250	300	-
Bois	3,8	300	0,9	Air
	5	850	4,5	Air
Contreplaqué	3,8	350	5,3	Air
	6,4	850	5,4	Air
	20	225	0,3	-
Composite fibre bore	1,3	260	0,8	N_2
	3	3000	1,5	N_2
Caoutchouc	2,5	600	4,8	-
synthétique	11,4	350	1,5	-
Tapis polyester	24	200	3,0	Air
Cellulose	0,65	375	1200,0	-
Plastique acrylique	0,65	375	600,0	-
Polycarbonate	0,65	375	60,0	-
Polyéthylène	0,05	375	20,0	-
Cuir naturel	0,76	225	3,0	-
Simili-cuir	0,40	350	16,8	-

	Epaisseur (mm)	Puissance laser (W)	Vitesse de coupe (m/mn)	Gaz d'assistance
Acier doux	3,2	400	0,9	O_2
	3,2	4 000	4	O_2
	4	1 600	1,8	O_2
	50	6 000	0,3	O_2
Acier carbone	3	200	0,6	O_2
	16	15 000	2,3	O_2
Acier inoxydable	3,2	1 500	1,70	O_2
304	4,7	3 000	2,50	O_2
	12,5	15 000	5,00	O_2
Acier inoxydable	2,8	250	2,4	O_2
410	3,2	3 000	12,5	O_2
Titane	6,3	3 000	3,5	O_2
	25,0	10 000	5,0	O_2
	5,0	3 000	0,5	O_2
Alliage de titane	2,2	250	3,7	O_2
T A 14 V	5,0	1 000	3,2	O_2
	25,0	10 000	5,0	O_2
Nimonic 90	1,5	1 500	1,9	He
Aluminium	3,2	3 000	2,5	Ar
	6,4	3 000	1,0	Ar
	12,5	3 000	0,76	Ar
	12,5	6 000	1,50	Ar
	12,5	15 000	2,25	Ar
Inconel	12,5	10 000	1,25	He

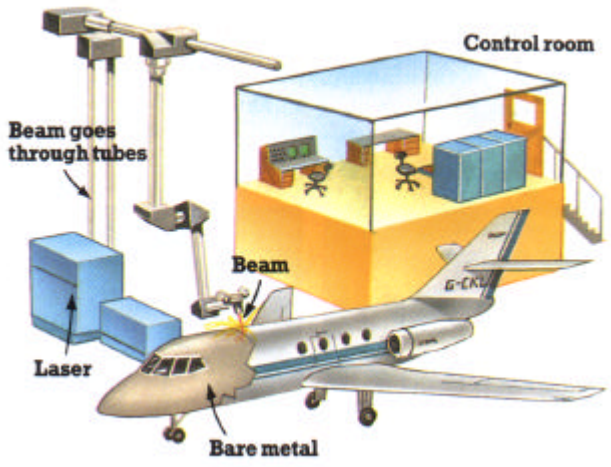




d) Le ***micro-usinage*** et les nanotechnologies utilisent aussi intensivement le laser. L'application principale est la gravure de masques photographiques pour la fabrication de puces. On peut aussi tracer, marquer (numéros, codes-barres, sérigraphies…), rectifier des résistances une fois scellées.

e) citons, pour terminer, quelques autres applications:

-la ***trempe et les modifications chimiques*** (cémentation, nitruration) superficielles sur des formes complexes



-l'***analyse*** des matériaux par création d'un plasma en impulsions brèves et spectrométrie de masses

-le ***rechargement*** de minces couches sur un substrat

-le ***décapage*** de pièces délicates: élimination d'oxydes, de graisse, de peinture (restauration des toiles de maître), de graffitis.

J.A.

2-Le Laser en Médecine

On peut se référer à la bibliographie jointe pour avoir de plus amples détails sur cette application de plus en plus importante. Deux remarquables sites WEB permettent de s'initier à l'interaction laser-matière vivante: http:// www.univ-lille2.fr/safelase/french/tiss_fr.html et www.fr.tentelemed.comCICE/2%20CONDITIONS/LASER/francais_/laser3.html. Cette interaction est utilisée pour dénaturer, détruire ou volatiliser des molécules organiques. Elle est en tous points semblable à l'interaction laser-matière inerte à part que l'effet photochimique y est plus important.

Cette application est développée dans l'exposé de R.FARCY

J.A.

IPN Orsay

3-Lecture et Reprographie

Ces applications concernent:

a) l'analyse fine d'images au sens large, c'est-à-dire de formes plus ou moins capables de réfléchir, d'absorber ou de diffuser un pinceau lumineux incident et ce, en continu ou en échantillonnage commandé par une horloge. Ensuite, la capture de l'action de ces 3 phénomènes par un détecteur, le stockage et le traitement de cette capture.

b) Une reproduction plus ou moins conforme d'un original sur un support plan. La captation de l'original doit se traduire par un signal de sortie capable de moduler une intensité lumineuse.

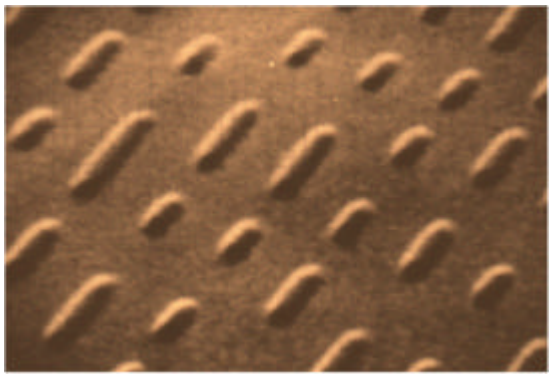
Elles utilisent une autre particularité de la lumière: sa vitesse, qui autorise des balayages, des modulations et des transmissions ultra-rapides.

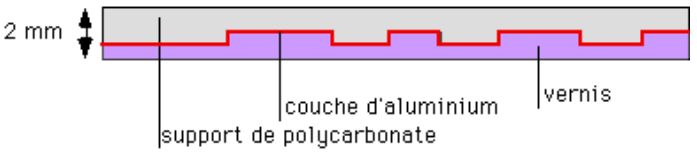
Lecture:

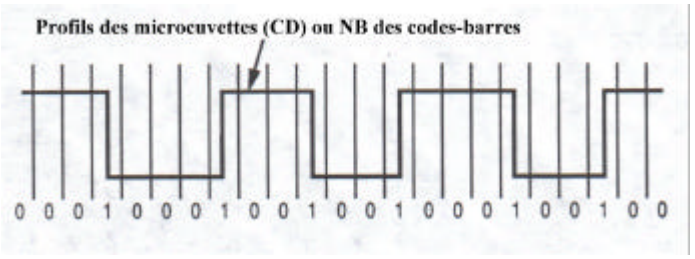
Le pinceau explorateur fait environ 20µm (1200dpi) dans les scanners, photocomposeurs et scanners codes-barres. L'image est balayée en Z (« raster scanning » comme en télévision). Ce pinceau fait de l'ordre du µm en lecture CD avec un balayage en spirale. La partie de ce pinceau réfléchie ou diffusée est détectée par une cellule photo-électrique à réponse plus ou moins linéaire avec l'éclairement reçu, selon que l'image est binaire (texte NB, codes-barres, gravure CD...) ou en tons continus (graphismes...). Cette lecture peut être continue (image non stockée) ou commandée en impulsions par une horloge avec repérage des coordonnées du point exploré (image stockée). Le détecteur est parfois sensible à la polarisation lumineuse (CD-RW). En image couleur, l'analyse de 3 composantes RVB se fait séquentiellement ou simultanément avec des filtres ou des détecteurs monochromes. Les lasers de lecture sont de faible puissance: diodes, HeNe, Ar et Kr, surtout en mode continu.

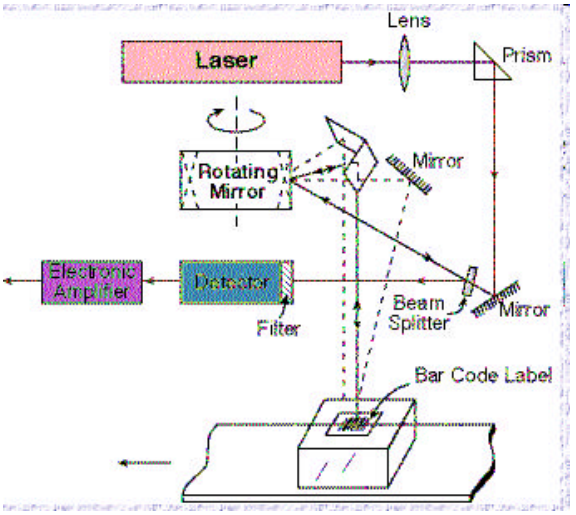
J.A.

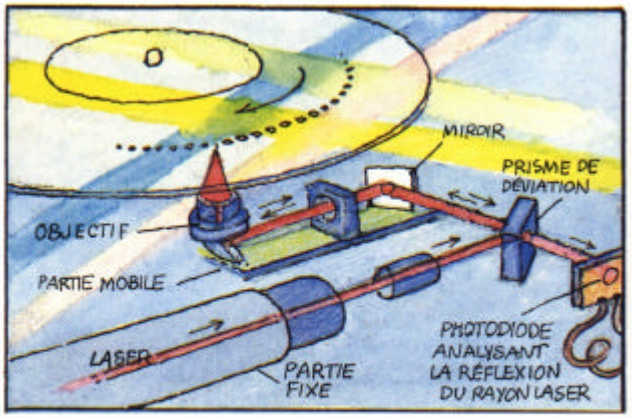
IPN Orsay

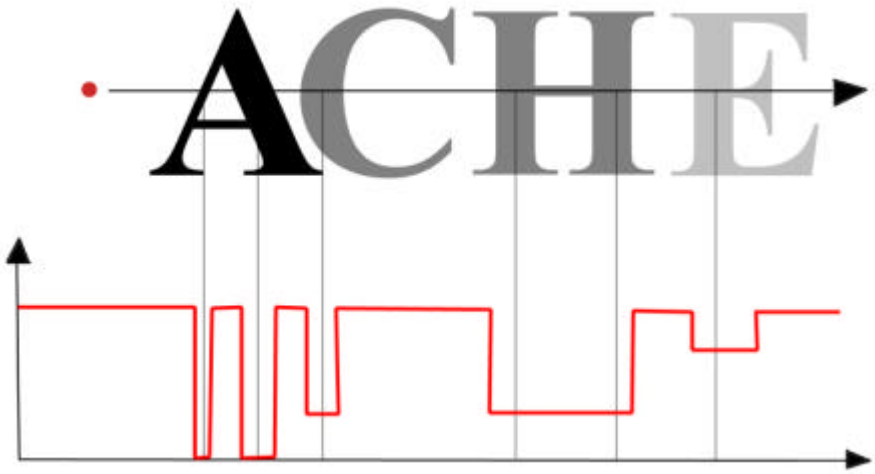



2 mm
couche d'aluminium
vernis
support de polycarbonate


Profils des microcuvettes (CD) ou NB des codes-barres
0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0


Lens
Laser
Prism
Rotating Mirror
Mirror
Electronic Amplifier
Detector
Filter
Beam Splitter
Mirror
Bar Code Label


MIROIR
PRISME DE DÉVIATION
OBJECTIF
PARTIE MOBILE
LASER
PARTIE FIXE
PHOTODIODE ANALYSANT LA RÉFLEXION DU RAYON LASER


ACHE


0
5
12345 67890

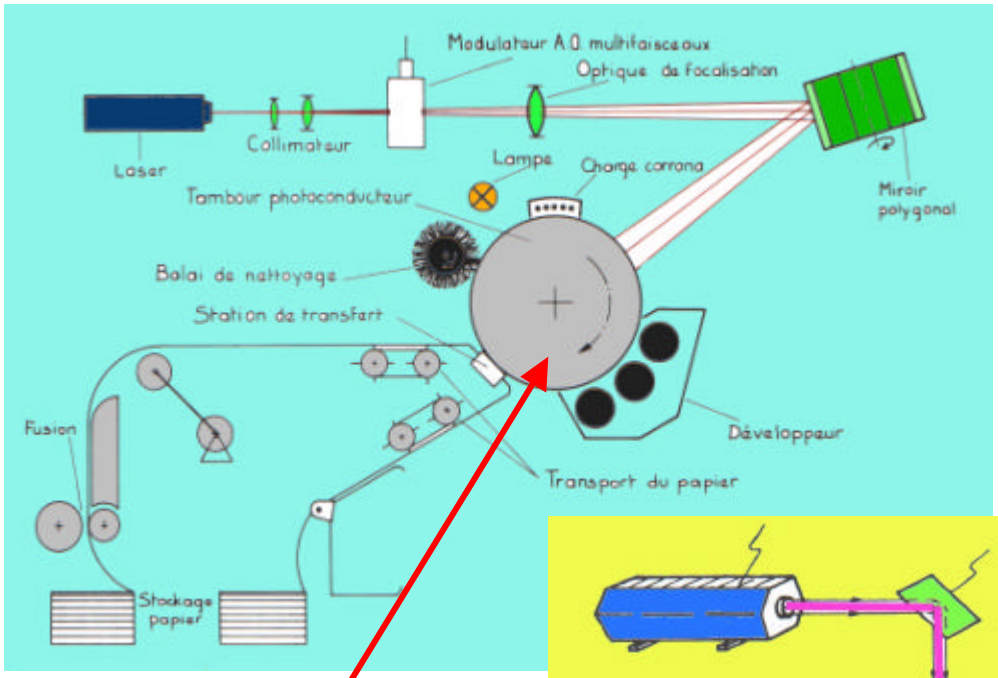

Carrefour
RAIS ROSE C1 AFSU
22.06.2000
29,90
0,936 kg
28,00F

J.A.

Reproduction:

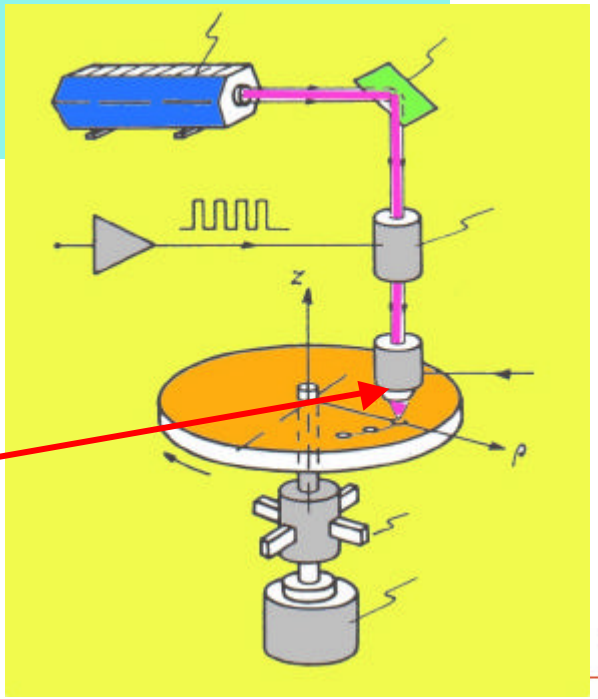
Elle se fait en utilisant soit l'effet thermique (adjoint à une polarisation magnétique dans les CD-RW) ou l'effet photoélectrique du pinceau reproducteur, soit la photo-ablation ou la photosensibilisation du support.

La gamme des lasers est la même que pour la lecture avec l'adjonction des lasers CO_2 et YAG quand il y a ablation.



L'usage du tambour photo-conducteur est général dans les photocomposeurs et les imprimantes.

Le burin optique peut induire des effets magnétiques.

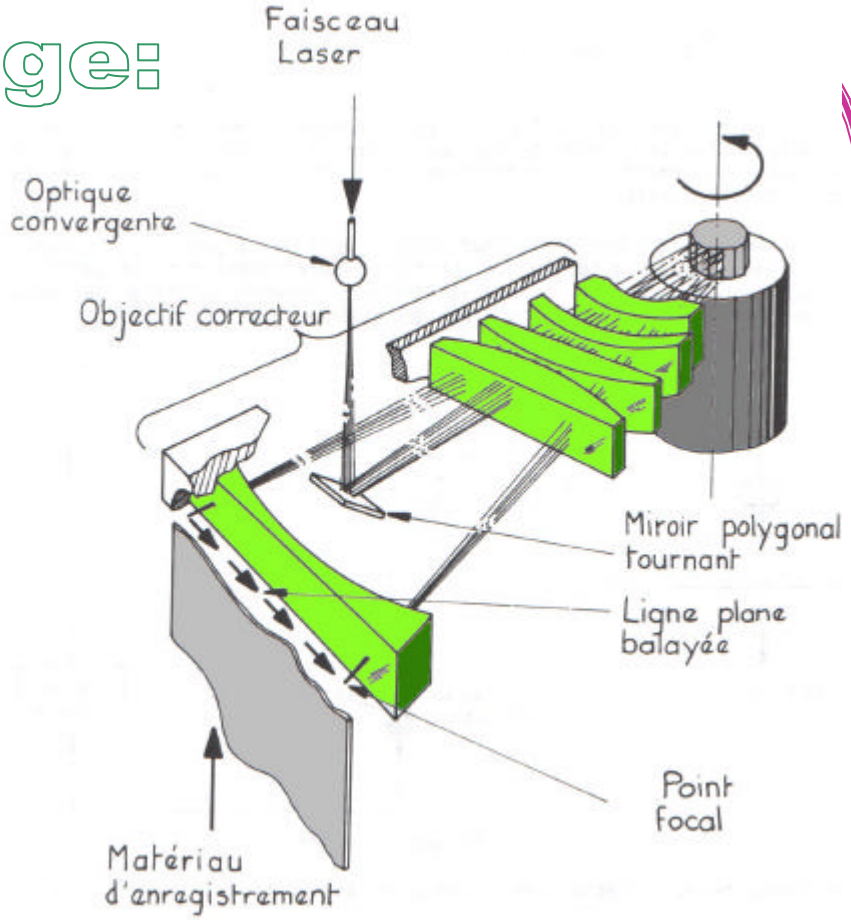


J.A.

Balayage:

Citons 2 solutions simples: le miroir galvanométrique et le miroir tournant polygonal.

Sur un format A4, on arrive à 20000 points par ligne et 800 lignes/s.



Modulation:

Elle se fait avec des temps de réponse de l'ordre de la ns avec les 2 modulateurs suivants:

Dans le modulateur acousto-optique, un quartz piézo-électrique crée des ondes ultrasonores dans un milieu qui présente alors des zones plus ou moins comprimées agissant comme un réseau diffractant. La puissance de l'onde liée à la tension de commande agit sur le taux de diffraction.

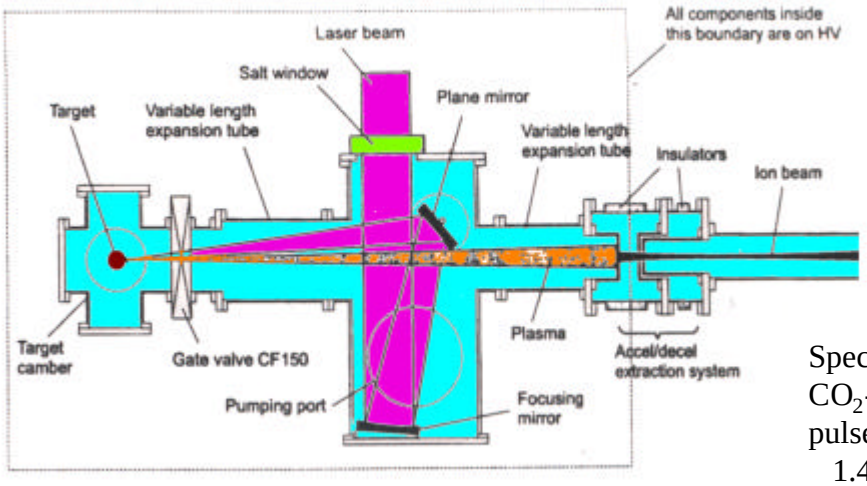
Dans le modulateur électro-optique (cellule de Pockel), un cristal (KDP) soumis à un champ électrique et placé entre 2 polariseurs croisés devient plus ou moins bi-réfringent selon la valeur du champ.

Dans le cas de la diode laser, la commande peut se faire directement par variation du courant injecté jusqu'à 100MHz.

J.A.

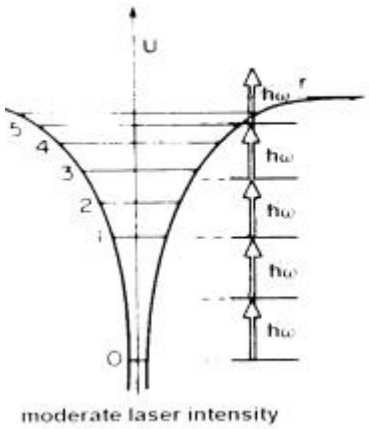
IPN Orsay

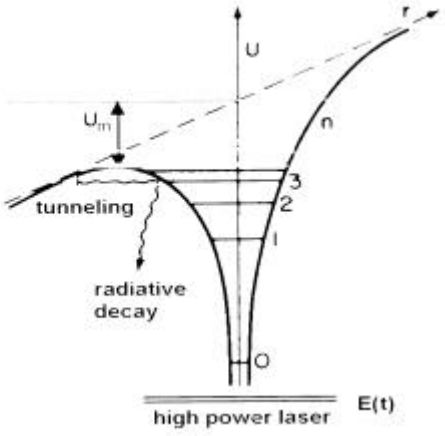
4-Source d'ions Laser

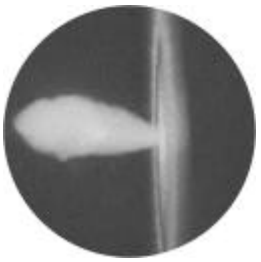


CERN LIS

Specifications :
CO_2-N_2-He laser 100J-10^{13}W.cm^{-2}
pulses of 50ns at 1Hz
1.4 10^{10} Pb^{25+} per pulse



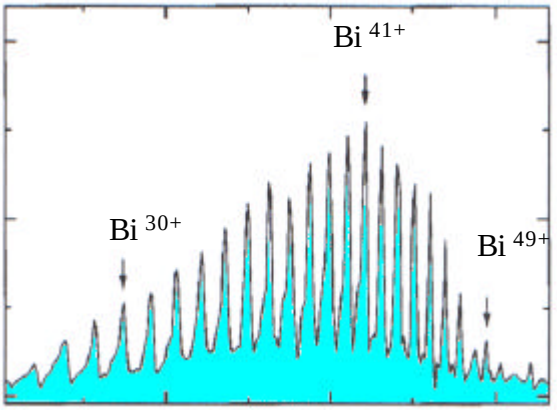


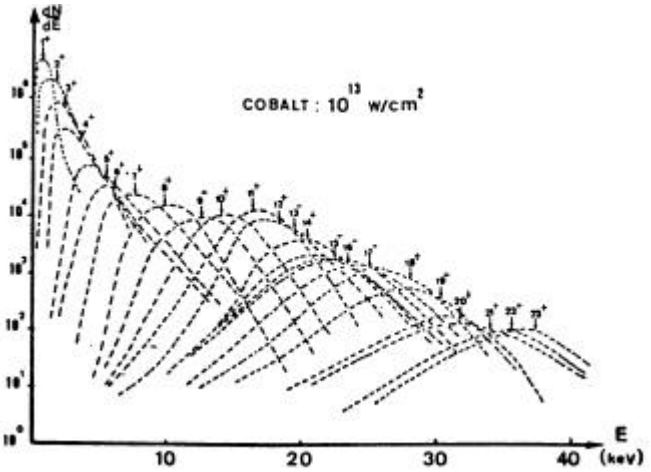


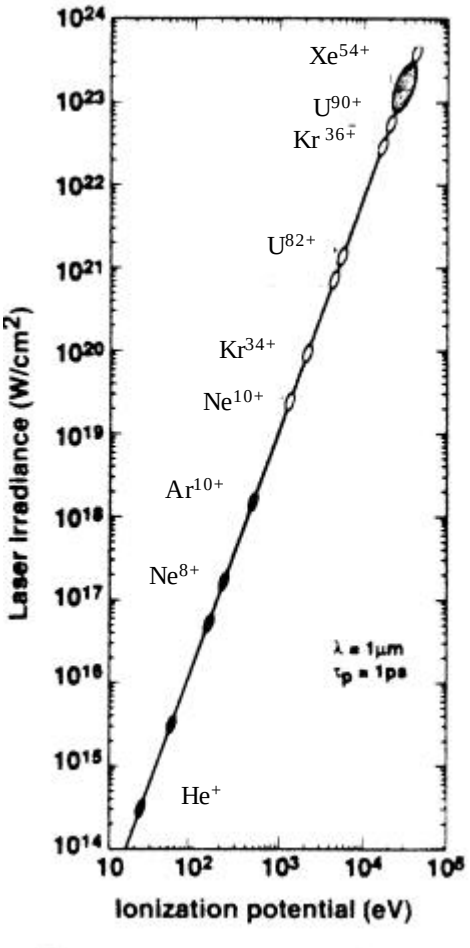
Multiphotoionisation Ionisation de champ

Au-delà de 10^6W/cm^2, l'interaction laser-matière produit des espèces chargées. L'onde de choc libère une plume de vapeur, qui absorbe les quanta. Les électrons sont chauffés et deviennent faiblement ionisants. Passés 10^{12}W/cm^2, l'absorption multiphotonique permet l'ionisation en couches profondes en quelques picosecondes.

J.A.







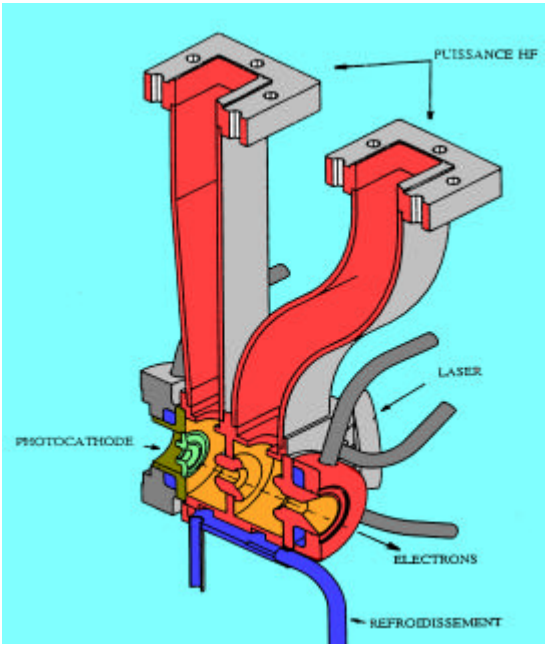
Le spectre en charges est très étalé et la dispersion en énergie grande. A 10^{19}W/cm^2, le champ électrique associé atteint 10GV/m, le champ magnétique 1GGauss et la pression de radiation 0.3Gbar! On produit U^{82+} jusqu'à 1MeV par ionisation de champ. A 10^{24}W/cm^2, on produirait des noyaux d'uranium à plus d'1GeV. Comme la quantité d'ions par pulse est grande, ce dispositif est utilisable (et déjà utilisé) comme source d'ions.

J.A.

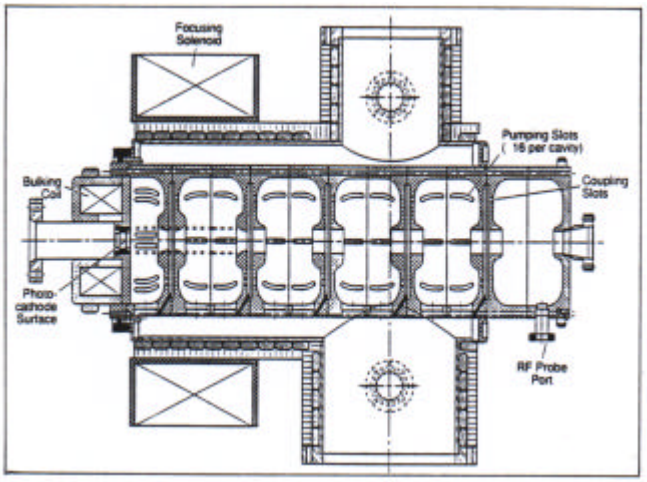
5-Sources d'électrons Laser

Les accélérateurs à électrons travaillent avec des fréquences d'accélération de l'ordre du GHz. Pour n'envoyer des électrons que pendant l'acceptance, on peut utiliser une photo-cathode éclairée pendant quelques picosecondes et émettant quelques A crête. Les lasers employés sont en général des YAG multipliés en fréquence.

On peut superposer un champ électrique élevé pour augmenter l'émission, voire chauffer la photo-cathode.



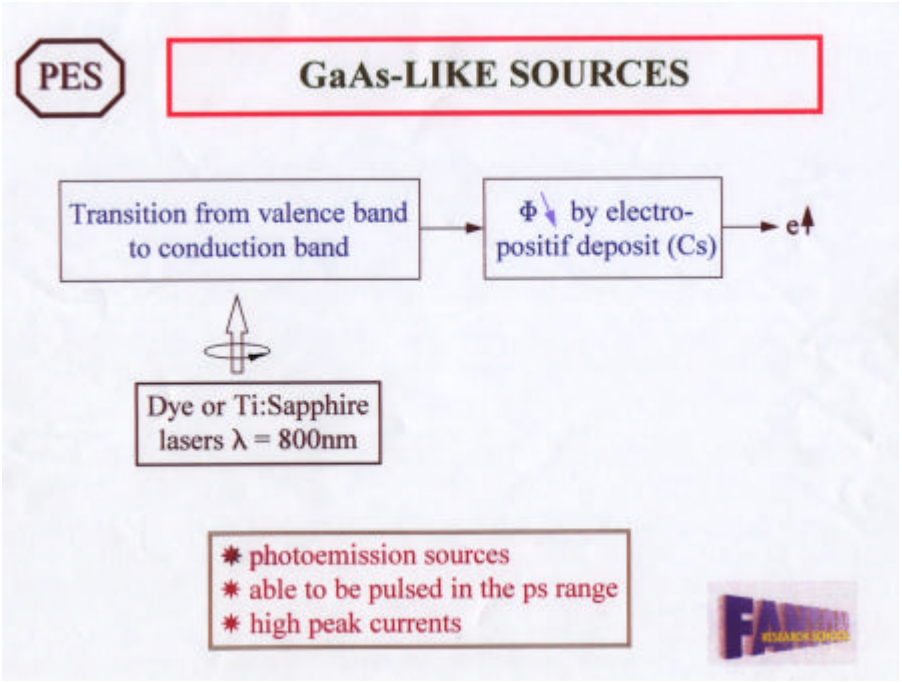
Le photo-canon Candela



Pour éviter l'explosion du faisceau d'électrons par la répulsion coulombienne, on l'accélère rapidement.

Ces photo-injecteurs sont de plus en plus utilisés en particulier dans les lasers à électrons libres. Ils évitent un système de groupage.

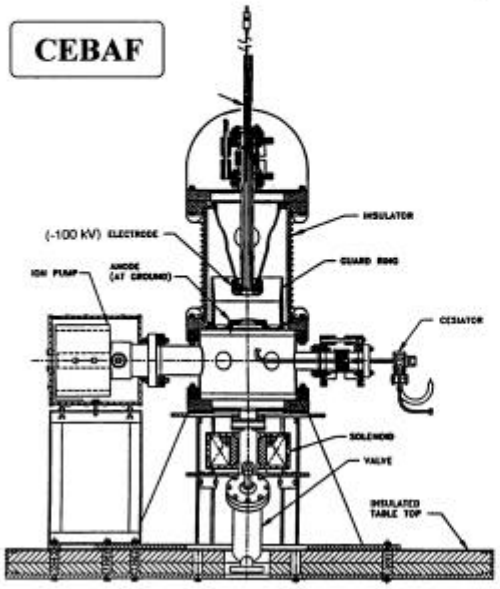
J.A.



En irradiant une cible faite d'un sandwich de couches à base d'AsGa avec une lumière polarisée circulairement, on peut produire des électrons polarisés. Le laser est soit à colorant soit Ti:saphir, accordables.

ARRANGEMENT

CEBAF

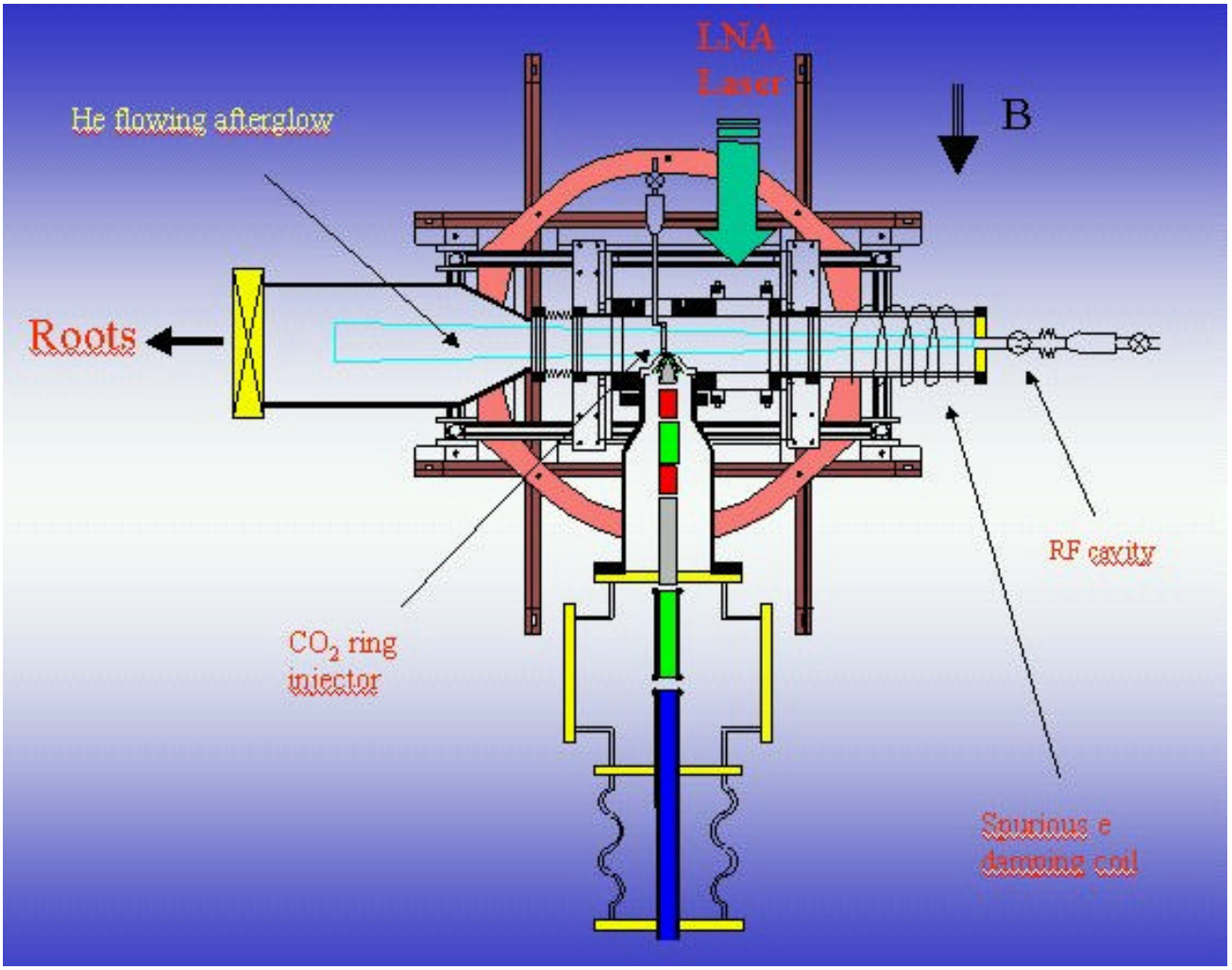


- Complex technology
- Peak currents of some A
- No bunching with ps lasers
- P up to 80% with 25μA DC
- $\varepsilon_N \approx 0.5\ \pi\ 10^{-6}$
- $\Delta W \approx 0.1$eV

Le tout fonctionne dans un ultravide extrême, à la limite de la vaporisation de la photo-cathode.

J.A.

En irradiant des atomes métastables triplets de l'hélium avec de la lumière polarisée circulairement à 1.083µm, on peut aussi produire des électrons polarisés. Le laser est semblable à un laser YAG sauf le milieu actif qui est de l'hexa-aluminate de lanthane et magnésium (LNA).



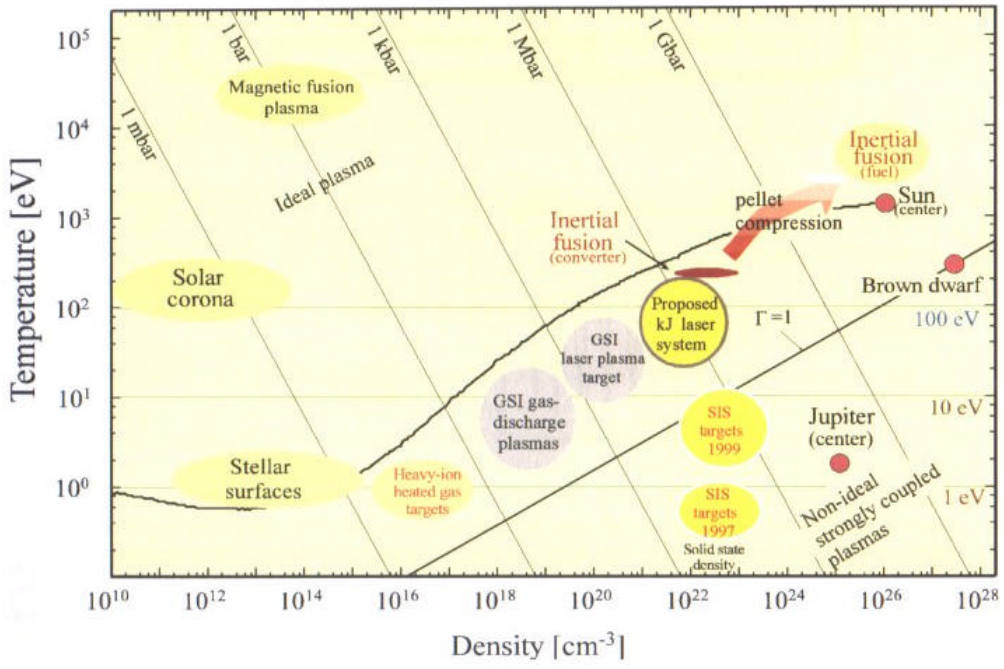
Le pompage optique des hélium 3&4 a une grande variété d'applications, de la médecine à la paléochronologie.

J.A.

6-La Fusion inertielle

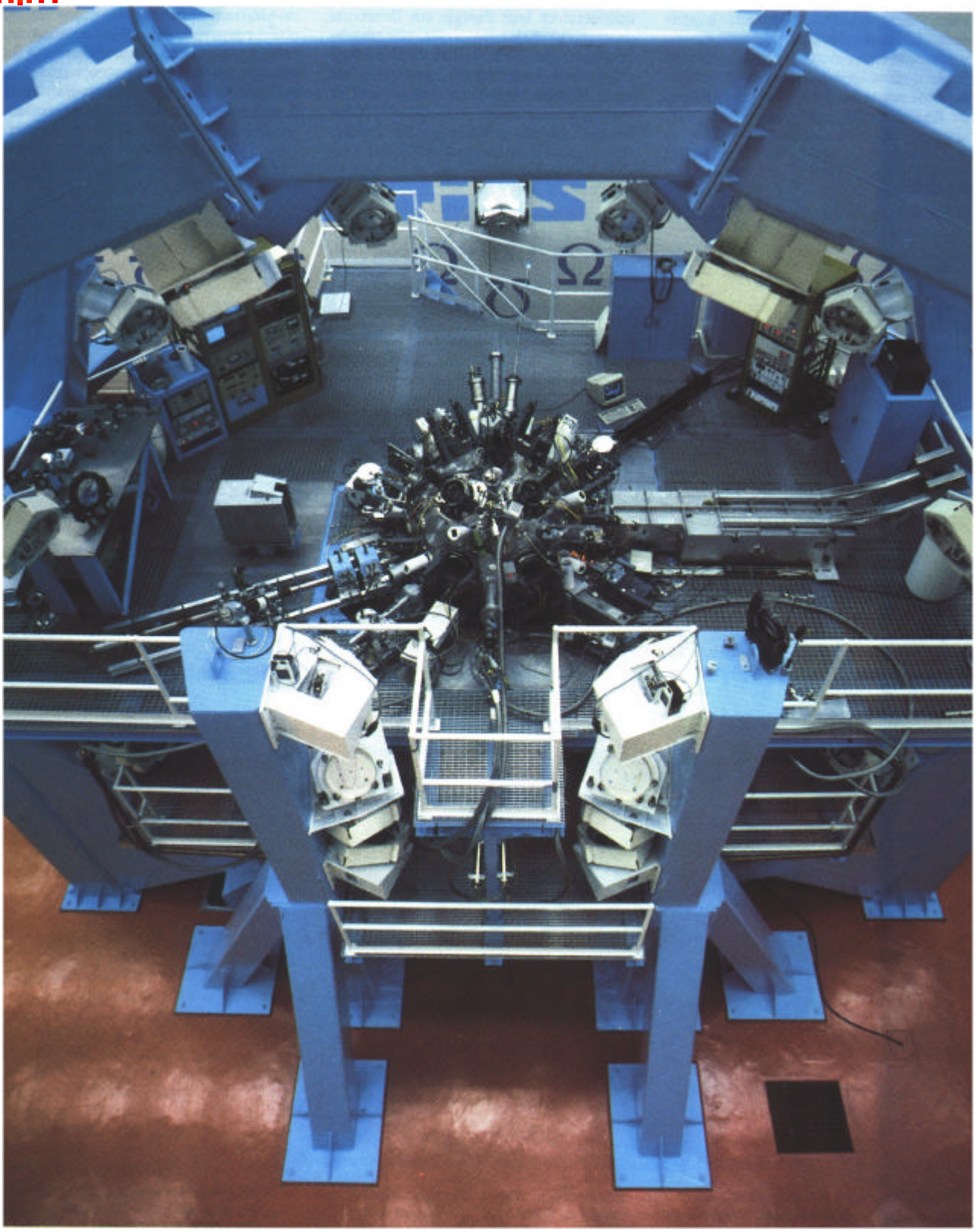
Il s'agit de faire fusionner 1 atome de deutérium et 1 de tritium, en vue de production d'énergie. Pour cela, il faut vaincre la répulsion coulombienne entre ces atomes, ce que l'on peut réaliser en leur donnant une grande énergie cinétique au sein d'un plasma à haute température, par exemple. Lawson a montré que le produit densité de plasma-température-temps de confinement $n\tau T$ doit être supérieur à 10^{22}. La voie «Tokamak» est à n faible et τ grand. Une alternative est l'inverse, c'est la voie de la fusion inertielle avec 1 bretelle: par ions lourds ou par laser.

Dans la voie laser, quelques µg de mélange sont enfermés dans une coquille plastique ou de verre. Cette cible est placée au centre d'une chambre dans laquelle convergent plusieurs faisceaux laser, de façon équirépartie.



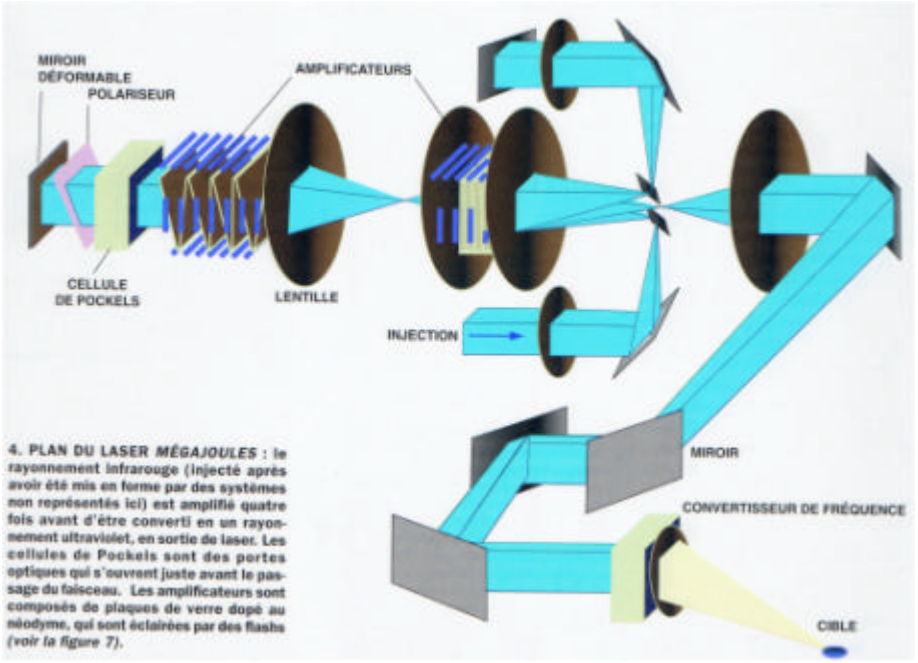
1eV=1.16 10^4K

J.A.



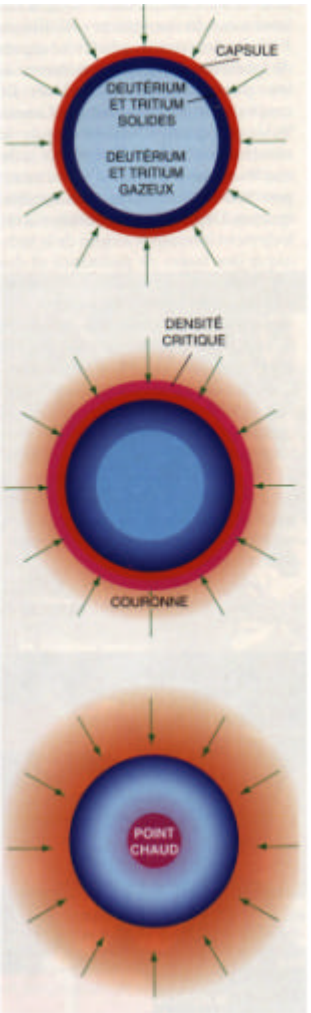
J.A.

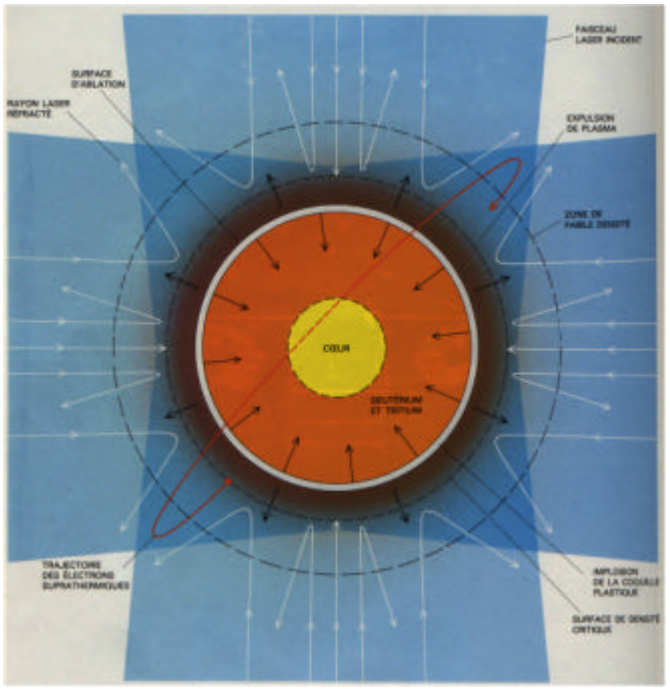
IPN orsay



4. PLAN DU LASER *MÉGAJOULES* : le rayonnement infrarouge (injecté après avoir été mis en forme par des systèmes non représentés ici) est amplifié quatre fois avant d'être converti en un rayonnement ultraviolet, en sortie de laser. Les cellules de Pockels sont des portes optiques qui s'ouvrent juste avant le passage du faisceau. Les amplificateurs sont composés de plaques de verre dopé au néodyme, qui sont éclairées par des flashs *(voir la figure 7)*.

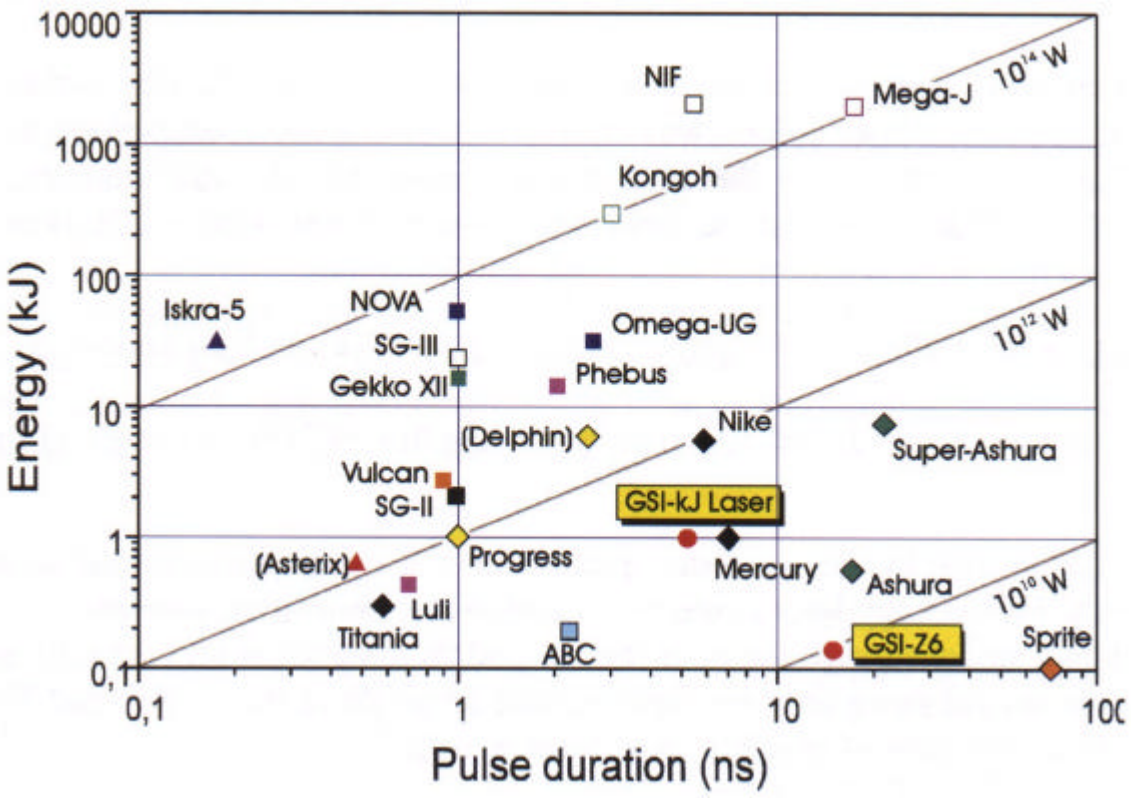
Ces faisceaux ionisent la périphérie de cible, formant un plasma fortement absorbant, dont la température s'élève rapidement. S'échappant radialement de façon explosive, il induit une compression du reste de cible qui implose, accroissant n de sorte que peuvent démarrer les réactions de fusion.



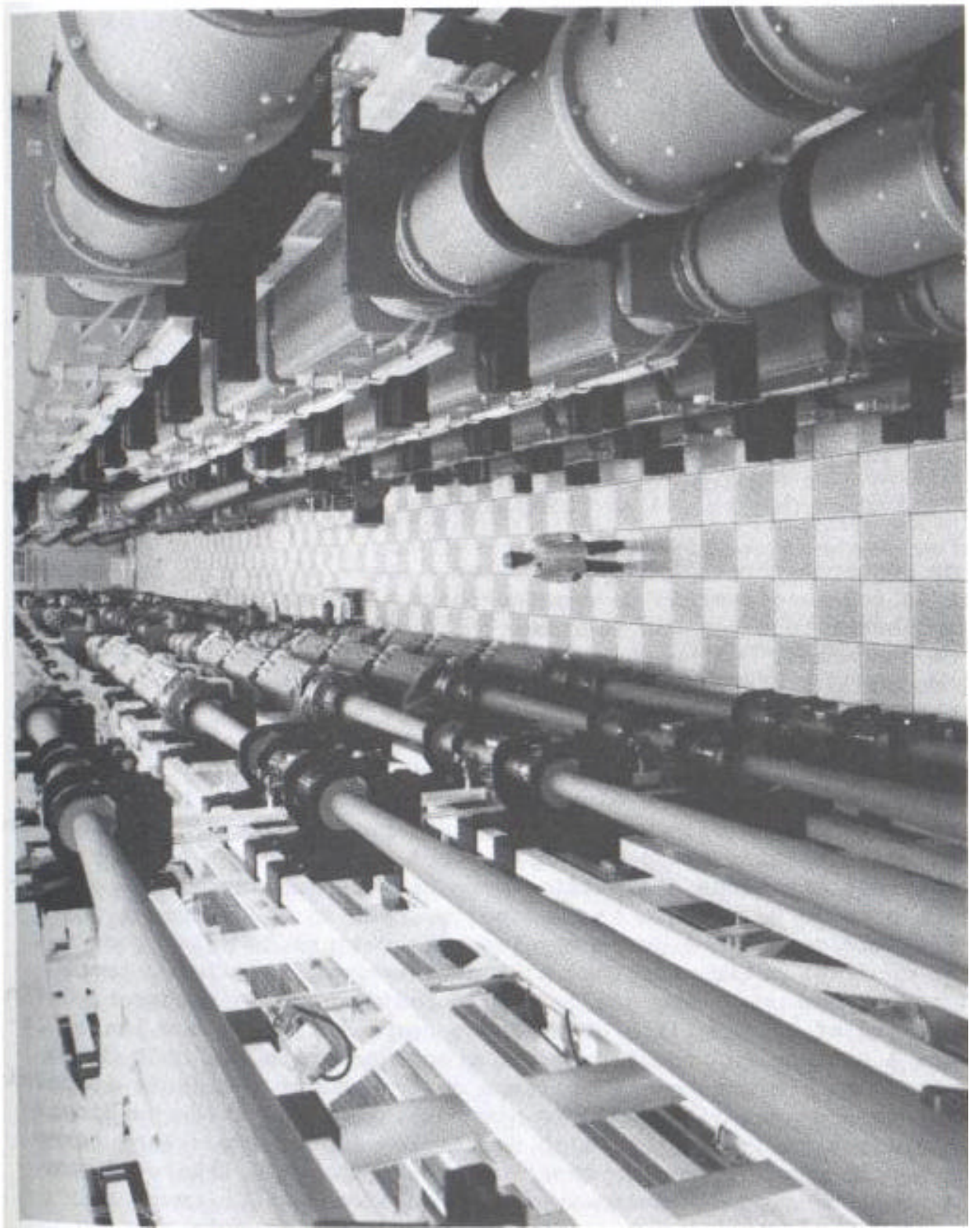


Ce processus nécessite la plus grande énergie lumineuse possible à une longueur d'onde favorable à l'absorption. La majorité des dispositifs utilisent des lasers Verre:Nd avec des cristaux doubleurs ou tripleurs de fréquence. Un des problèmes à résoudre est la survie des barreaux amplificateurs et des dispositifs optiques quand la densité de puissance devient trop grande: c'est la raison pour laquelle les barreaux sont multipliés et de grand diamètre. C'est aussi, dans le domaine des impulsions ultrabrèves, ce qui a conduit à l'amplification par compression-expansion (« chirped amplification »).

Le projet de laser Mégajoules comportera 240 faisceaux regroupés par 8 dans 30 cylindres convergeant vers la cible.



J.A.

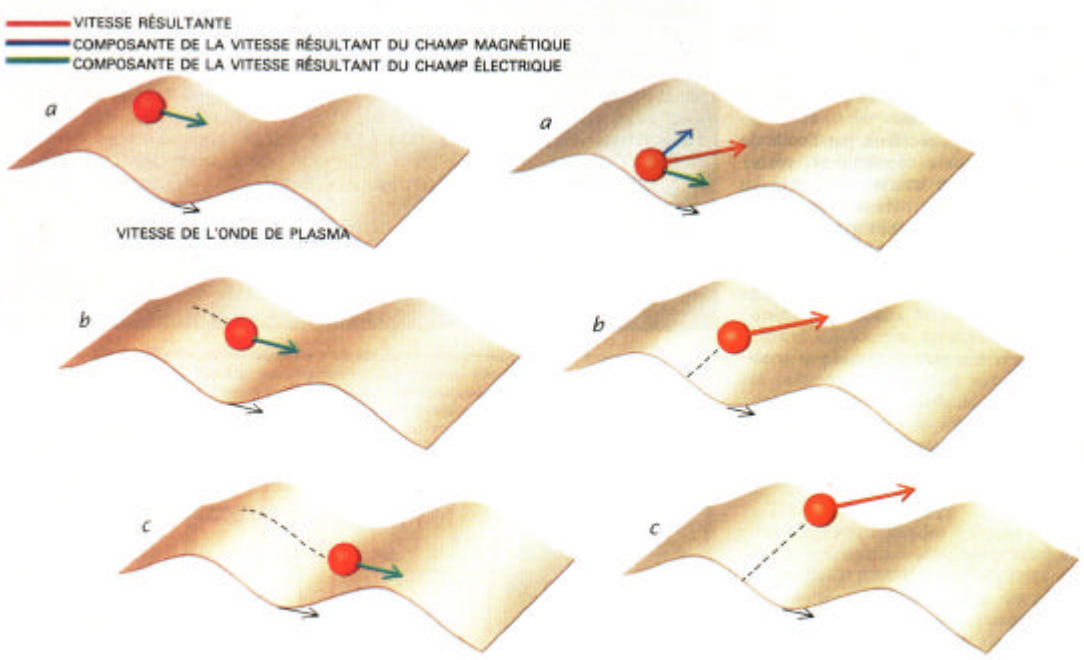


J.A.

7-L'accélération par plasma

Dans un plasma de décharge à 2hPa, la fréquence propre d'oscillation est proche de 10 GHz. Pour obtenir des ondes de plasma à partir de lasers travaillant plutôt dans les THz, il faut créer un battement d'ondes. A $10^{17}W/cm^2$, avec 2 faisceaux lasers à 1.064nm (Nd:YAG) et 1.053nm (Nd:YLF), on peut obtenir une résonance sur la fréquence plasma créant des champs électriques de 10GV/m soit 1000 fois ce que produisent les cavités supraconductrices!

Les expériences préliminaires (Amiranoff et al. au LULI, Joshi et al. UCLA) ont montré le bien-fondé de la méthode qui est semblable à l'accélération par champ de sillage. Cette dernière méthode est basée sur un pulse lumineux bref qui induit une force sur les électrons de plasma due au champ électrique de l'onde lumineuse (par échange de quantité de mouvement: force pondéromotrice). Le pulse laser laisse dans son « sillage » des oscillations susceptibles d'accélérer des électrons.



9. DES ÉLECTRONS sont régulièrement accélérés par une onde de plasma s'ils restent en phase avec le champ électrique *(en beige)* de l'onde de plasma. Tout électron *(à gauche)* qui se déplace un peu plus vite que l'onde de plasma la dépasse ; il n'est pas accéléré et risque même d'être ralenti. On peut toutefois accélérer des électrons plus rapides que l'onde *(à droite)* en appliquant un champ magnétique qui oriente sa trajectoire obliquement par rapport à la direction de l'onde : les électrons se déplacent alors de biais par rapport à l'onde et ils restent en phase avec elle : leur énergie augmente progressivement.

J.A.

8-La photo-ionisation résonante

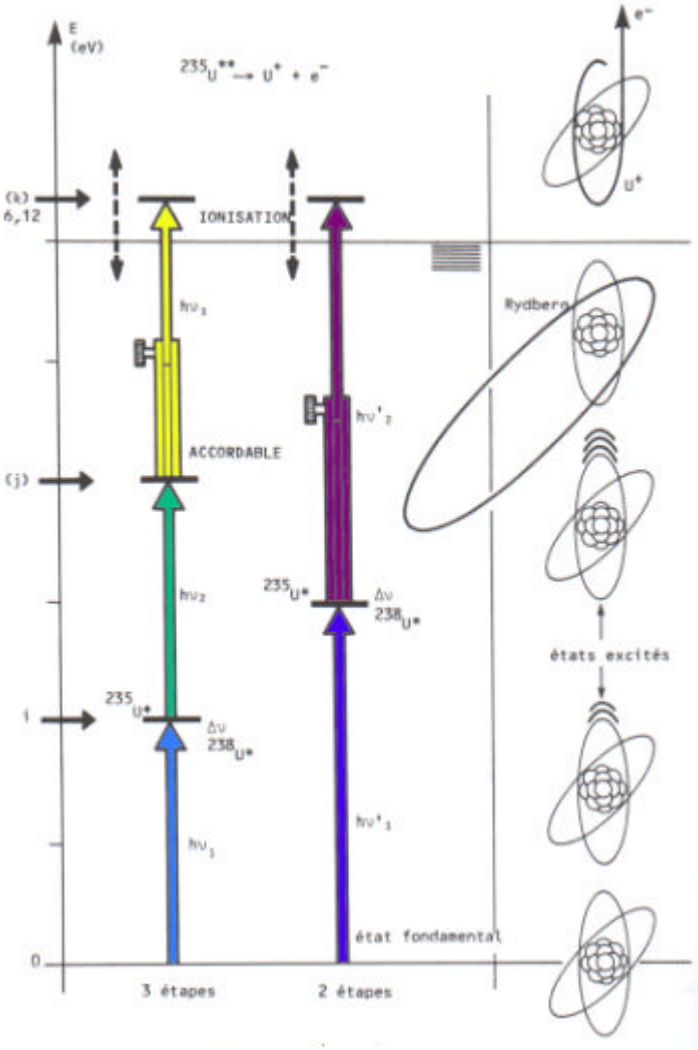
La séparation isotopique permet de favoriser la production de l'espèce la moins abondante dans une gamme resserrée de masses. C'est un enjeu important dans le domaine nucléaire (combustibles enrichis) et dans la recherche fondamentale.

Les niveaux d'énergie varient d'un élément à l'autre et d'un isotope à l'autre. Ils sont une signature unique d'un nucléide.

L'avènement de lasers accordables puissants permet une photo-ionisation résonante en calant finement 2 ou 3 longueurs d'onde sur les transitions de l'atome que l'on veut ioniser. L'enjeu est d'avoir suffisamment de photons pour avoir des temps d'excitation < temps de relaxation des niveaux excités.

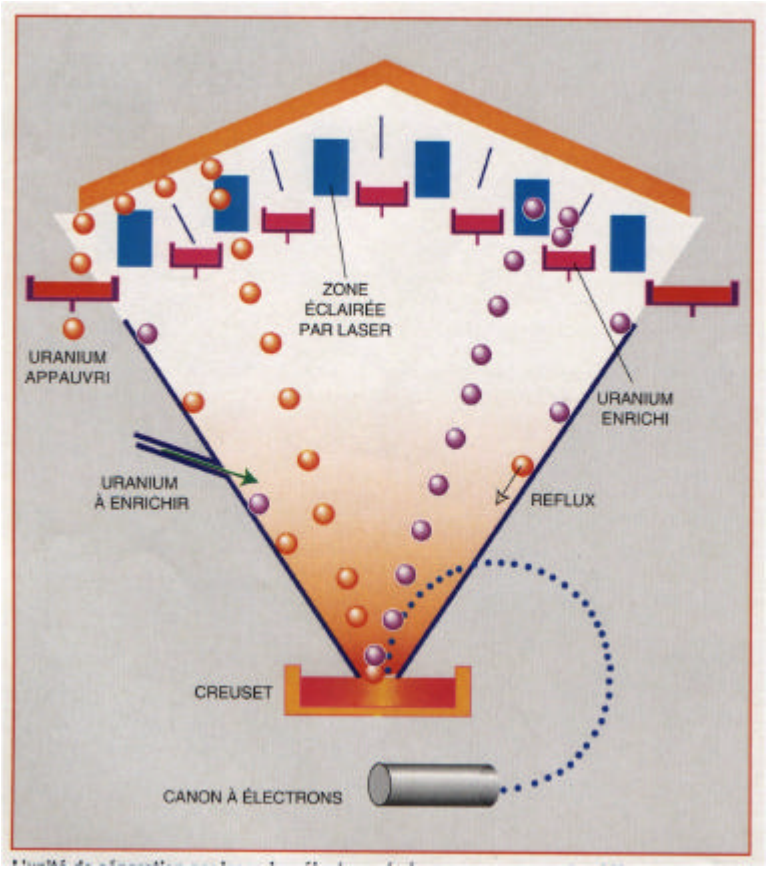
Les taux de production restent faibles et les applications industrielles en sont encore à l'état de projet.

En physique nucléaire , la méthode permet l'enrichissement en noyaux exotiques perdus dans le bruit de fond du spectre de masses.



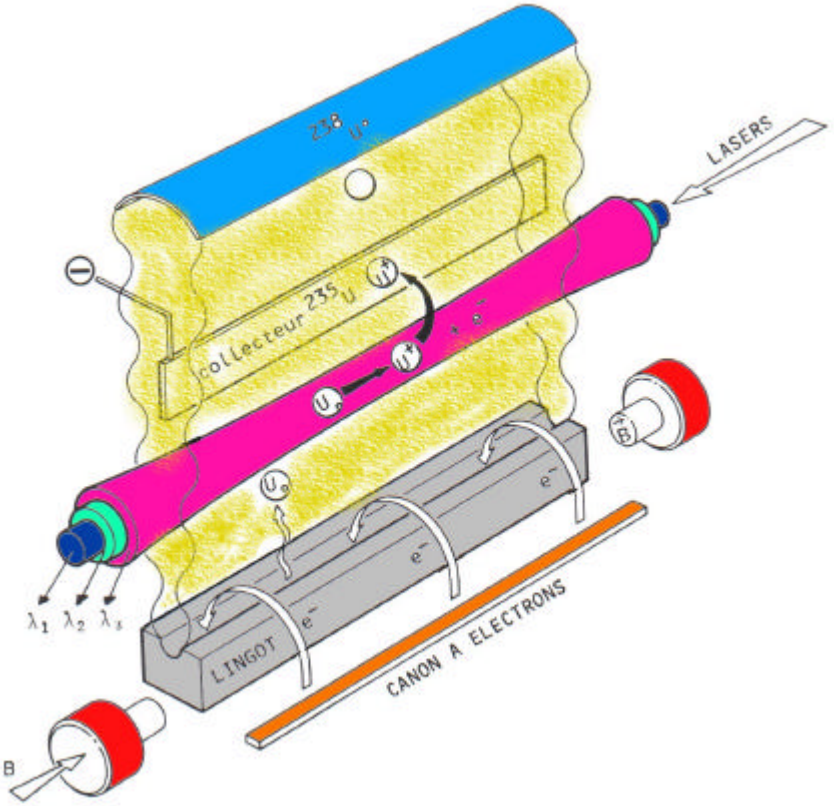
J.A.

IPN Orsay



Une installation industrielle d'enrichissement d'^{235}U mettrait en jeu la fusion à 3000K d'un lingot de plus de 10m de long par bombardement électronique.

La production serait de quelques g/s.



J.A.

∞-et encore!!

Il fallait faire un choix. Citons encore, pour mémoire et pour le plaisir, quelques applications majeures:

Télécommunications:

Avec une diode laser couplée à une fibre optique de quelques µm de diamètre, des répéteurs distants d'une centaine de km et un détecteur à avalanche, on transmet jusqu'à 10Gbits/s (150000 voies téléphoniques).

Télémétrie, Altimétrie, PhLith.:

Deux principes sont utilisés pour mesurer des distances allant de quelques mètres à la distance Terre-Lune (à quelques cm près!) :

a) la comparaison de phase entre signaux émis et reçu après modulation HF du faisceau laser.

b) La mesure précise du temps de vol aller et retour entre émetteur et objet sur lequel s'effectue une réflexion d'une impulsion lumineuse.

Alignement:

Un laser continu de faible puissance, un système optique de correction de divergence et une platine de positionnement constituent la base d'un système d'alignement. L'axe d'alignement peut être constitué de 2 mires au centre desquelles passe le rayon laser. Très utile pour le creusement des tunnels, le tracé des autoroutes et des voies ferrées.

et les spectacles, le "cooling", les hologrammes...

J.A.

IPN Orsay

Bibliographie

W. Koechner. Solid-state laser engineering. Springer Verlag 1988.

S.S. Charschan editor. Lasers in industry. Van Nostrand 1972.

J.F. Ready. Effects of high power radiation. Academic Press 1971.

C.J. Joshi & P.B. Corkum. Physics Today 01/95, 36.

G.A. Mourou, C.P.J. Barty & M.D. Perry. Physics Today 01/98, 22.

PHELIX. Rapport GSI-98-10.

J. Coutant. Pour la Science 12/97, 76.

J. Dawson. Pour la Science 05/89, 60.

S. Craxton, R. MacCrory & J Soures. Pour la Science 10/86, 58.

H. Maillet coordinateur. Le laser. Principes et techniques d'application. TEC&DOC Lavoisier 1990. « *La Bible* ».

R.Farcy. Applications des lasers. Masson 1992. « *Un passage obligé* ».

C. Fabre et J.P. Pocholle. Les applications médicales des lasers. EDP Sciences.

J.P. Girardeau Montaut et R. Lambert. Les lasers et leurs applications médicales; TEC&DOC Lavoisier.

Que sais-je 3429. Le laser en dermatologie et esthétique.

W.M. Silfvast. Laser fundamentals. Cambridge University Press.1996.

« *remarquablement clair, mais en anglais* »

J.A.