HAMFU
HISTORY

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1979/1980
Leitung: Abteilung für Übermittlungstruppen, Divisionär A. Guisolan

Le Laser, une arme de demain?

Referent: Michel Dufour, Dr. phys.

Diese Vorlesung wurde durch die Stiftung HAMFU digitalisiert und als
PDF Dokument für www.hamfu.ch aufbereitet.

LE LASER, UNE ARME DE DEMAIN ?

Dr. M. Dufour

Table des matières

1. Introduction
2. Principe d'une arme laser
3. Propagation d'un faisceau laser
4. Interaction entre faisceau laser et matière
5. Projets en cours de réalisation
6. Faisceaux lasers et faisceaux de particules
7. Conclusion

Adresse des Autors:

Michel Dufour, Dr. phys.
c/o Gruppe für Rüstungsdienste
3602 Thun

"Krieg im Aether", Folge XIX

1. Introduction

La question de la réalisation d'armes thermiques utilisant des faisceaux lumineux est à la fois ancienne et actuelle.

Ancienne, si l'on songe que, en l'an 214 avant J-C, lors de la Seconde guerre punique, alors que le général romain Marcellus assiégait Syracuse, un ingénieur militaire fort connu, Archimède, aurait mis le feu aux galères ennemies en focalisant sur ces galères, à l'aide de miroirs, la lumière du soleil (fig 1).

Actuelle, si l'on considère que, aux Etats-Unis, il a été possible l'an dernier d'intercepter en vol et de détruire lors d'un test un missile à l'aide d'un laser chimique.

Fig 1: Archimède et les rayons du soleil

De plus, on sait que les Etats-Unis ont déjà investi plus d'un milliard de dollars dans le développement de lasers à grande énergie (fig 2) et qu'ils comptent investir, d'ici 1985, un autre milliard dans le développement d'armes lasers.

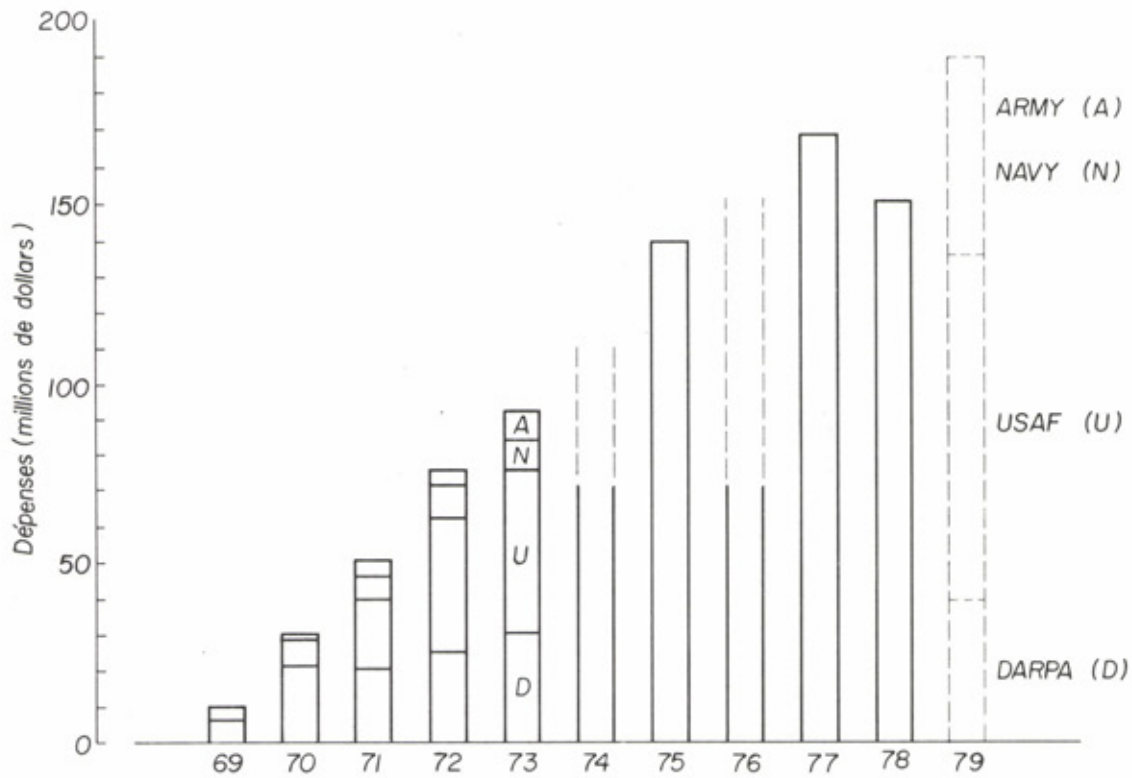

Fig 2: Dépenses militaires consacrées aux lasers de grande énergie, aux USA, de 1969 à 1979

Qu'en est-il en réalité et à quoi doit-on s'attendre? Les récents progrès de la technique dans le domaine des lasers de grande énergie, aux Etats-Unis en particulier, permettent de croire effectivement qu'ils pourraient être utilisés, dans un proche avenir, comme arme thermique contre certaines cibles. Comparée à des armes conventionnelles, une telle arme aurait, en effet, certaines propriétés remarquables: La propagation de l'énergie, à la vitesse de la lumière, permettrait d'atteindre une cible quasi-instantanément; l'énergie pourrait se propager, dans l'espace tout au moins, sur de très grandes distances.

La réalisation d'une arme laser, cependant, nécessite davantage que la seule mise au point d'une source laser de grande énergie; elle exige aussi le développement de systèmes auxiliaires tels que systèmes de repérage, pointage et tracking qui doivent être très précis et d'une grande rapidité.

De plus, la propagation, dans l'atmosphère, de faisceaux de grande intensité est un phénomène encore mal connu, ce qui fait que, si l'on est aujourd'hui en mesure de prédire les effets des lasers sur des matériaux, à courte distance, dans des essais de laboratoire par exemple, il n'en va pas de même des effets à grandes distances.

Dans ce qui suit, le principe et les effets d'une arme laser seront discutés, et comparés à ceux de systèmes traditionnels ou concurrents, tels les faisceaux de particules.

2. Principe d'une arme laser

Une arme laser est un ensemble constitué d'un laser de grande énergie couplé à des systèmes auxiliaires de radar et de tracking. Le laser de grande énergie est lui-même constitué d'un émetteur laser couplé à un réservoir d'énergie. L'émetteur laser peut être considéré comme un "transformateur" qui transforme une partie de l'énergie E_s stockée dans le réservoir, en une onde électromagnétique ou "faisceau laser". Ce faisceau transporte un paquet d'énergie E_ℓ, cohérente, à la vitesse de la lumière, dans une direction bien définie. Le rapport $\eta = E_\ell/E_s$ définit le rendement de l'émetteur qui dépend du type de laser considéré.

2.1. Les lasers de grande énergie

Les types de lasers pouvant entrer en considération pour la réalisation d'une arme laser doivent combiner les 2 avantages suivants:

- le rendement énergétique du laser doit être élevé
- le procédé utilisé pour "exciter" le milieu laser actif doit être "extensible" de telle sorte que l'émission de grandes énergies ($E_\ell > 1$ kJ) soit possible.

De plus, si l'arme laser doit être utilisée non seulement dans l'espace, mais sur terre, la longueur d'onde de la lumière émise doit tomber dans une fenêtre atmosphérique, (fig 3) c'est à dire dans une région spectrale où l'atmosphère présente une transparence suffisante.

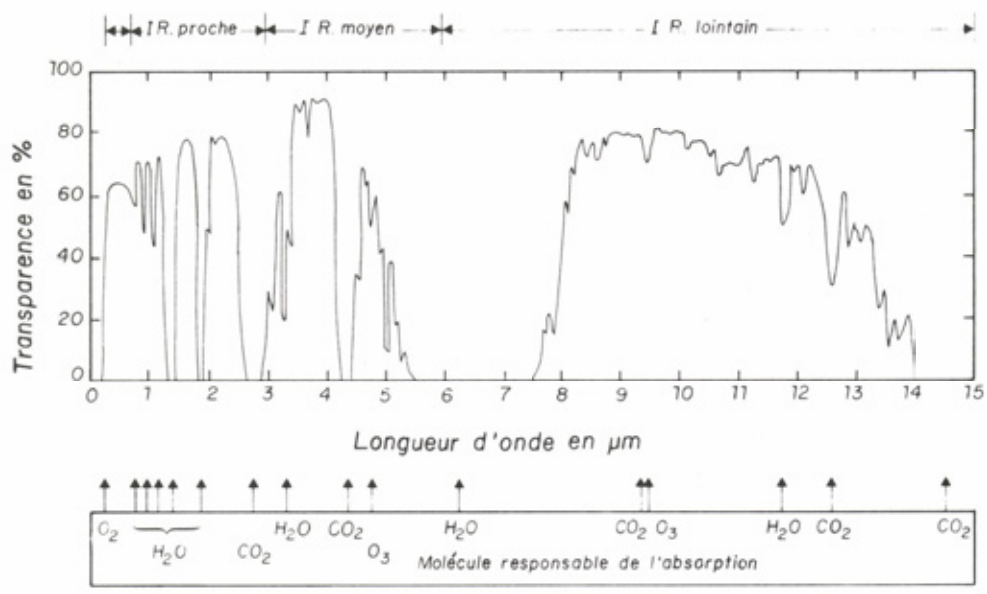

Fig 3: Transparence de l'Atmosphère

Actuellement, les lasers peuvant être considérés comme des candidats potentiels sont:

- les lasers à CO_2
- les lasers à CO
- les lasers à DF
- les lasers à HF

Dans un avenir proche, cependant, d'autres types de lasers, tels les lasers à électrons libres, pourraient également entrer en considération.

Les caractéristiques de ces lasers sont résumées dans la fig 4. Tous ces lasers sont capables d'émettre un faisceau quasi-continu, c'est-à-dire pendant quelques secondes au moins. Si l'on ignore la valeur exacte des puissances maximales émises jusqu'ici, les données relatives à ces lasers étant classifiées, on peut admettre qu'elles atteignent ou dépassent peut-être même pour certains lasers le mégawatt.

Type de laser	longueur d'onde	rendement énergétique η	puissance quasi-continue déjà réalisée
CO_2 (dioxide de carbone)	∿ 10 μ	15 - 30 %	> 200 kW
CO (monoxide de carbone)	∿ 5 μ	20 - 50 %	> 200 kW
DF (fluorure de deutérium)	∿ 3,8 μ	20 - 30 %	> 200 kW
HF (fluorure d'hydrogène)	∿ 2,8 μ	20 - 30 %	> 200 kW

Fig 4 Caractéristiques des lasers de grande énergie (Situation en 1979)

L'évolution de la puissance maximale des lasers a été en effet très rapide durant ces dernières années (Fig 5) et tout permet de croire que cette évolution se poursuit: un laser à CO aurait émis en 1978 une puissance de "plusieurs mégawatts" pendant "quelques secondes". La NASA projetterait de mettre au point des lasers continus d'une puissance de l'ordre du gigawatt, dans le courant des années 80.

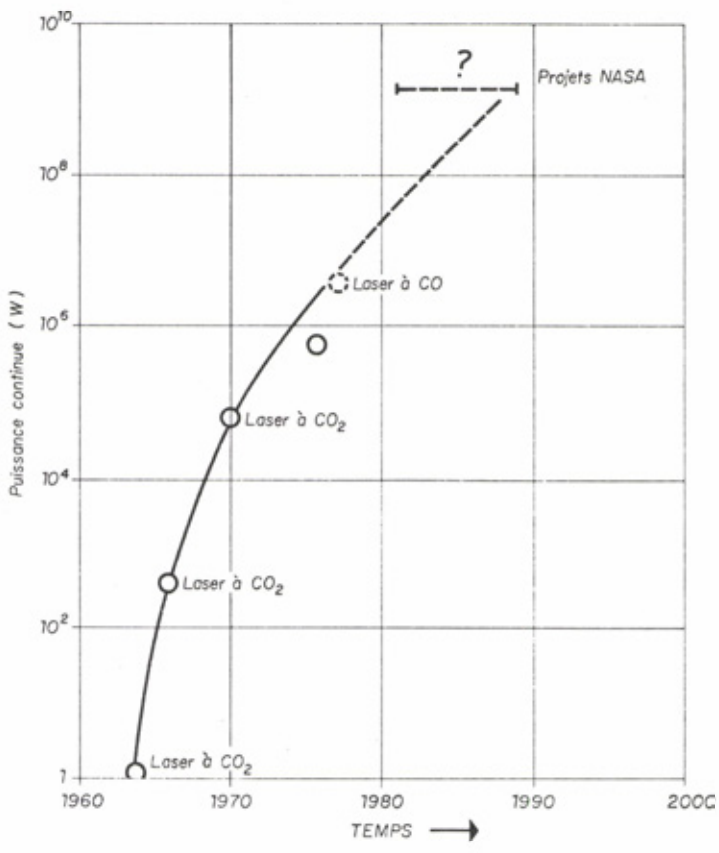

Fig 5: Evolution de la puissance des lasers

Cette dernière information, qui étonne bien des spécialistes dans le domaine des lasers, doit être considérée avec une certaine réserve. Nous verrons cependant, dans ce qui suit, que, du point de vue militaire, des émetteurs dont la puissance est située entre 1 et 10 MW sont déjà des engins redoutables pour certaines cibles.

2.2. Fonctionnement d'un laser à grande énergie

Quelque soit leur type, tous les lasers ont en commun le fait d'utiliser un milieu "excité" placé dans un résonateur optique. Les lasers de grande énergie que l'on connaît aujourd'hui sont tous des lasers utilisant un milieu actif à l'état gazeux. L'excitation du milieu actif, conduisant à l'inversion de population qui provoque l'émission laser, peut se faire de différentes façons. Les 3 principaux types d'excitation sont:

- l'excitation par décharge électrique
- l'excitation par expansion du gaz dans un écoulement supersonique
- l'excitation par réaction chimique

L'excitation par décharge électrique

(EDL = Electric Discharge Laser)
Le gaz est excité par le passage d'un courant électrique tout comme dans un tube fluorescent. La source d'énergie nécessaire est essentiellement une source d'électricité: condensateur chargé à une tension élevée. Un tel laser fonctionne avant tout en mode pulsé. (exemple: CO_2)

L'excitation par expansion du gaz dans un écoulement supersonique

(GDL = Gas Dynamic Laser)
L'inversion de population a lieu lors de la détente d'un gaz préchauffé, après passage dans une tuyère. Ce type d'excitation ne nécessite que l'énergie thermique nécessaire au préchauffage du gaz. L'emission laser ainsi obtenue peut fonctionner en mode pulsé ou en continu. (exemple: CO_2)

L'excitation par réaction chimique

(Chemical Laser)
L'excitation a lieu à l'aide d'une réaction chimique produisant une molécule à l'état excité.

Exemple de réaction:

$$F + H_2 \longrightarrow HF^* + H$$

L'énergie émise dans le faisceau laser est ici stockée dans les produits chimiques initiaux. Aucune source d'énergie supplémentaire n'est en principe nécessaire. L'émission laser ne se fait qu'en mode continu. (exemples: HF, DF)

Remarquons que dans tous ces systèmes, il est nécessaire, pour l'obtention de grandes énergies, d'évacuer rapidement les molécules après l'émission de leur photon. Dans la plupart des cas, un recyclage de ces molécules est possible.

Un laser au DF de 1 MW, par ses dimensions, serait comparable à un gros moteur Diesel. Il pèserait quelques tonnes et consommerait quelques kilos de "combustible" par seconde.

2.3. Les systèmes auxiliaires

On entend par là les systèmes de repérage, de pointage et de tracking associés à un laser de grande énergie. Les exigences quant aux performances de ces systèmes sont extrêmement élevées:

Dans l'espace, ces exigences seraient typiquement:

- grandes portées (100 km à 36'000 km)
- cible observée sous un angle très faible (20 à 0,1 microradians)
- précision de pointage (10 à 0,03 microradians)
- stabilité élevée (1 à 0,003 microradians)
- possibilité de réorienter rapidement le système sur une autre cible

De telles exigences nécessitent l'utilisation d'un radar à laser. Actuellement un système de tracking et de pointage utilisant un laser au CO_2 est en cours de développement. Ses caractéristiques sont données sur la fig 6.

	Distance / Champ	Résolution	Durée de la mesure
Distance ρ	ρ < 1000 km ρ < 10 km champ $\leqslant 2^o$	$\sigma(\rho)$ < 0,1 m $\sigma(\rho) \approx$ 0,01 m	< 10 ms < 10 ms
Repérage grossier	$\rho \leqslant$ 30 km champ 30°	$\sigma(\phi)$ < $0,5^o$	
Repérage fin	$\rho \leqslant$ 250 km champ 2° x 2°	$\sigma(\phi)$ < 0,5 mrad	
Tracking	$\rho \leqslant$ 250 km champ $\leqslant 2^o$ x 2°	$\sigma(\phi)$ < 10 μrad $\sigma(\dot{\phi})$ < 5 μrad/sec	< 10 ms < 10 ms

Fig 6 Perfomances requises d'un système de repérage et de tracking par laser, utilisable dans l'espace

Ce système pourrait être monté sur une plateforme hautement stabilisée, supportant le laser à grande énergie. Une telle plateforme, actuellement en développement aux USA, aurait une précision de pointage de 0,5 microradians (ce qui correspond à une erreur de 5 cm sur 100 km). La stabilité de pointage pourrait être portée à 0,05 microradians à l'aide d'une suspension magnétique.

Sur terre et sur mer, les propriétés de l'atmosphère limitent les performances d'un radar à laser. La résolution du système, qui dépend des conditions météorologiques, est aussi limitée par les variations de l'indice de réfraction de long du chemin optique.

Cela n'a pas empêché le développement de systèmes de pointage et de tracking dont la précision est de quelques microradians et leur fonctionnement a déjà été démontré avec succès. Les systèmes développés pour la Navy utilisent des lasers à solide émettant, après doublement de leur fréquence, à une longueur d'onde de 0.53 µ.

La mise au point de systèmes de repérage, de pointage et de tracking adéquats constituait jusqu'ici l'une des difficultés principales pour la réalisation d'une arme laser. Cette difficulté semble aujourd'hui, en voie d'être surmontée rapidement, si l'on en croit les informations annonçant que des avions sans pilote et des missiles ont déjà été détruits en vol lors de tests.

3. La propagation d'un faisceau laser

Alors qu'un projectile classique suit une trajectoire balistique, un faisceau laser suit une trajectoire rectiligne, pour autant que le milieu dans lequel il se propage soit homogène. De plus, la vitesse de transport de l'énergie lumineuse est 10^5 - 10^6 fois plus élevéee que celle du projectile.

Pour illustrer cette propriété, considérons un avion volant à une altitude de 20 km à la vitesse de 2000 km/h. Un projectile de DCA met environ 20 sec pour l'atteindre, alors qu'il ne faut, pour la lumière, que 60 µsec. Or, pendant le temps de vol du projectile, l'avion aura parcouru 10 km, alors que son déplacement n'est que de 3,5 cm pendant le "temps de vol" du laser. Une manoeuvre d'évitement de la part du pilote n'est donc plus possible dans le cas du laser.

Mais l'énergie d'un faisceau laser peut-elle être focalisée sur une cible distante de 20 km? Pour répondre à cette question, il convient de considérer 2 cas distincts: la propagation dans l'espace et la propagation à travers l'atmosphère.

3.1. La propagation dans l'espace

Dans le vide, un faisceau laser se propage sans atténuation, et sa géométrie sera déterminée par les caractéristiques optiques de l'émetteur uniquement. Le diamètre minimal d_m d'un faisceau

focalisé sur une cible sera donné par

$$d_m \simeq \frac{2 \lambda Z}{D}$$

où λ = longueur d'onde de la lumière laser

Z = distance de la cible

D = diamètre de l'optique de sortie du laser

Ainsi toute l'énergie d'un laser à CO_2, ayant une optique de sortie de 1 m de diamètre, peut-elle être focalisée, théoriquement, à une distance de 20 km, sur une surface d'environ 40 cm de diamètre. L'intensité obtenue sur la cible serait ainsi 5 fois plus élevée que l'intensité à la sortie du laser.

Mais il n'est pas irréaliste d'envisager, dans l'espace, une propagation sur des distances bien plus grandes, telles que des orbites de satellites d'observation ($\sim$ 200 km) ou de satellites géostationnaires (36000 km). A une distance de 36000 km, par exemple, le faisceau d'un laser HF de 1 MW, équipé d'une optique de 3 m, aurait un diamètre de $\sim$ 70 m. Son intensité serait encore de 0,03 W/cm^2, insuffisante pour produire une destruction, mais cependant capable de perturber des systèmes optiques tels que des détecteurs d'horizon.

3.2. La propagation à travers l'atmosphère

Alors que l'espace constitue un milieu idéal pour la propagation de faisceau lasers, il n'en va pas de même de l'atmosphère terrestre. Notre atmosphère agit comme un filtre atténuant l'énergie du faisceau et déformant sa géométrie. De façon générale, le comportement de faisceaux de grande intensité à travers l'atmosphère est un phénomène complexe encore mal connu.

Aux faibles intensités, les processus dominants sont: l'excitation résonante de molécules et la diffusion par des brouillards, des poussières ou des turbulences. Comme le coefficient de diffusion décroît avec la quatrième puissance de la longueur d'onde, les lasers infrarouges sont les moins affectés.

Aux intensités élevées d'autres effets apparaissent: L'atmosphère est échauffée et se raréfie. Cela produit une lentille thermique divergente qui élargi le faisceau. L'atmosphère devient "transparente" sous l'effet d'une saturation des molécules absorbantes.

De plus, il est aujourd'hui admis qu'un faisceau laser, dans certains cas, doit être capable de se creuser un tunnel dans le brouillard, ceci, à partir d'intensités de 0,1 - 1 kW/cm^2.

Malgré ces différents effets, et en attendant de disposer de résultats expérimentaux plus solides, il faut considérer l'atmosphère comme le facteur qui limite, sur terre, la portée d'un faisceau à quelques kilomètres et qui surtout va défocaliser son énergie.

4. Interaction entre faisceau laser et matière

Les effets principaux sont avant tout des effets thermiques; une onde électromagnétique cohérente, absorbée par un matériau, y produit avant tout une accélération du mouvement des électrons libres. Ceux-ci transmettent aux atomes, l'énergie cinétique ainsi acquise, lors de collisions. L'énergie électromagnétique incidente est donc transformée en un mouvement désordonné des atomes, c'est-à-dire en chaleur.

L'effet thermique d'un faisceau laser sur un matériau dépendra d'une part du coefficient d'absorption du matériau à la longueur d'onde du laser, et d'autre part des propriétés thermiques du matériau (conductibilité thermique, chaleur spécifique, etc).

On devra ainsi distinguer différentes catégories de cibles: "résistantes", "peu résistantes", "fragiles", "très fragiles". Si un faisceau laser, d'intensité suffisante, atteint la surface d'un matériau, celui-ci s'échauffe. Une énergie suffisante conduira à la liquéfaction ou à la vaporisation du matériau. Il est possible de définir, pour chaque matériau, un seuil d'intensité à partir duquel il se produit des dégâts (fig 7), seuil qui dépendra de la longueur d'onde du laser.

Matériau	Seuil d'intensité (W/cm^2)
Aluminium poli	$2 \cdot 10^6$
Acier	$2 \cdot 10^5$
Plexiglas	10^2
Tissu animal	1

Fig 7 Seuils d'intensités produisant une destruction sur différents matériaux. (Valables pour une longueur d'onde de 10,6 μ et une durée d'exposition supérieure à 0,1 sec)

Signalons qu'en plus des effets thermiques, d'autres effets sont possibles: ainsi des impulsions lasers courtes et très intenses peuvent produire une vaporisation directe de la surface du matériau. Cette vaporisation s'accompagne de l'émission d'ondes de choc, qui se propagent dans le matériau.

De telles ondes de choc pourraient dans certains cas provoquer la détonation d'explosifs ou de combustibles. Elles peuvent se produire à des intensités d'environ 10^8 W/cm^2.

Or, dans l'atmosphère, l'air s'ionise à partir de telles intensités. Il se produit un plasma qui se développe de façon explosive en direction de l'émetteur laser. Une propriété particulière de ce plasma est de constituer un écran pour le faisceau laser.

On voit donc que, dans l'atmosphère terrestre, pour produire un effet sur un matériau avec un laser, il est nécessaire que l'intensité du faisceau atteigne un certain seuil, mais il est également important que cette intensité soit située en dessous de l'intensité critique produisant l'ionisation de l'air.

4.1. Effets du laser à CO_2

La fig 8 permet d'évaluer les effets de lasers au CO_2 sur différentes cibles en fonction de la distance. On a considéré 2 systèmes:

- un laser de 100 kW, équipé d'une optique de 0,5 m de diamètre
- un laser de 10 MW, équipé d'une optique de 2 m de diamètre

dont les effets sont cependant limités par les facteurs suivants:

- atténuation atmosphérique par temps clair (a, fig 8)
- défocalisation due aux effets thermiques du faisceau dans l'atmosphère (b)
- ionization de l'atmosphère (c)
- ionization du matériau évaporé de la cible (d)

On peut considérer que la profondeur de destruction due à une irradiation laser d'intensité constante est, en gros, proportionnelle à la durée d'exposition. Cela permet d'extrapoler à d'autres épaisseurs de matériaux, les exemples de dégâts donnés sur la fig 8:

- cible "résistante" (ex: 10 mm d'acier détruit en 10 sec)
- cible "peu résistante" (ex: 10 mm de verre détruit en 1 sec)
- cible "fragile" (ex: 10 mm de tissu animal détruit en 1 sec)
- cible "très fragile" (ex: filtre optique détruit en 0,1 sec)

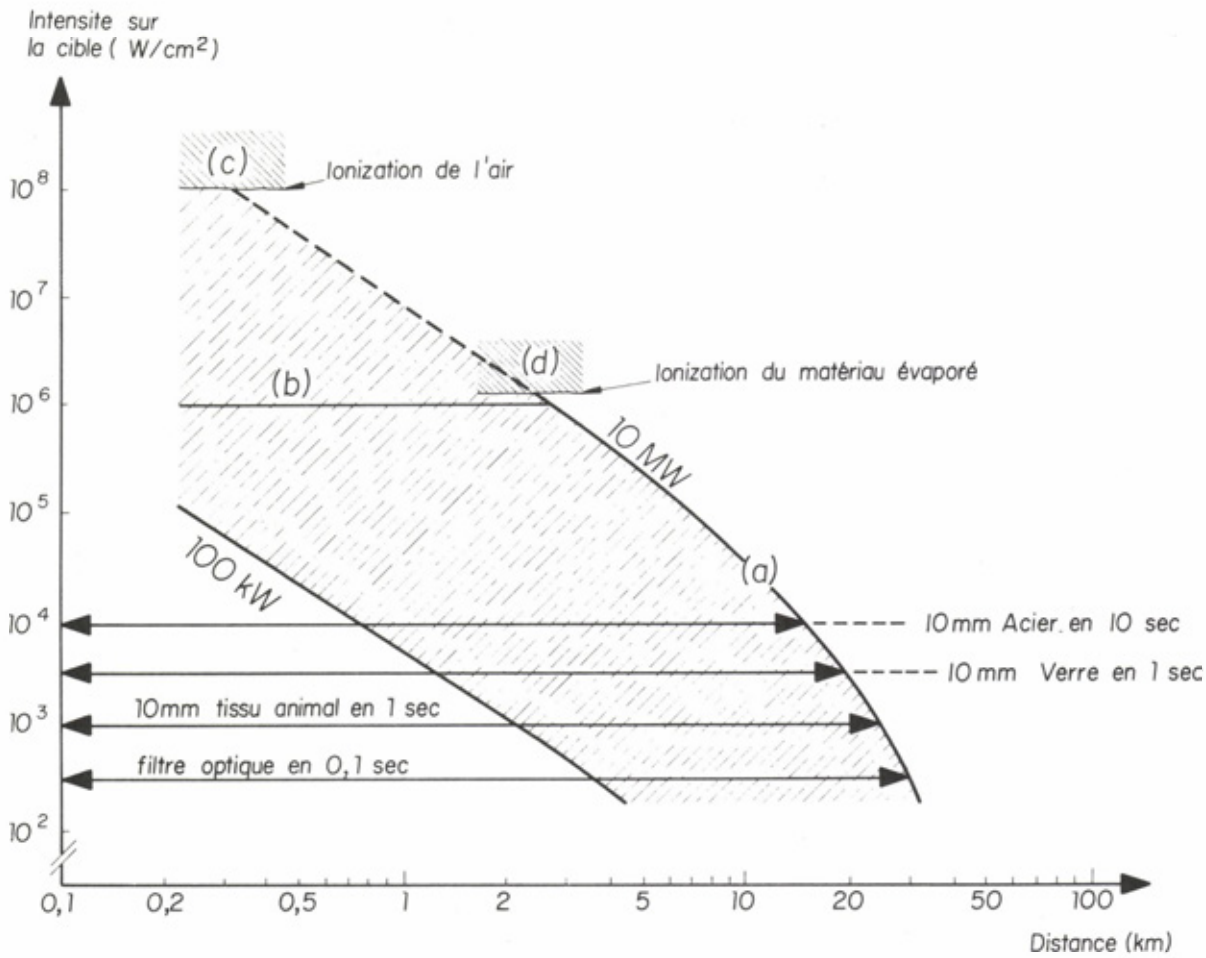

Fig 8: Laser utilisé comme arme

4.2. Comparaison entre les effets d'un projectile et d'une arme laser

La comparaison entre les effets d'un projectile et d'une arme laser sur un blindage est délicate car ces effets respectifs sont différents. Le projectile perfore le blindage localement en un temps très bref(ms) sur une surface d'environ 10 cm^2 qui ne dépend pas de la distance de la cible, pour autant que la portée de l'arme soit suffisante. Le laser, dans des conditions réelles, provoque une liquéfaction et une vaporisation du blindage sur une zone moins bien définie, ceci à cause des effets de l'atmosphère (turbulences) qui vont déflecter le faisceau et perturber sa distribution d'intensité. La surface minimale sur laquelle le faisceau peut être focalisé dépendra, pour une longueur d'onde donnée, de la dimension du miroir de sortie du laser et de la distance à la cible, si l'on peut négliger les effets de l'atmosphère (dans l'espace, par exemple).

Dans la comparaison effectuée (fig 9), on a négligé les effets de l'atmosphère. De plus, on a considéré deux lasers à CO_2, continus, l'un d'une puissance de 100 kW, l'autre d'une puissance de 10 MW, ayant l'un et l'autre un rendement de 10 % et un miroir de sortie d'un diamètre de 1,5 m.

	Projectile antichar	Laser 100 kW (CO_2)	Laser 10 MW (CO_2)
Distance cible	2 km	2 km	2 km
Surface impact	10 cm^2	10 cm^2	10 cm^2
Profondeur trou	350 mm	350 mm	350 mm
Temps de vol	1.3 sec	6 µs	6 µs
Energie au but	5 MJ	30 MJ	30 MJ
Energie totale nécessaire	50 MJ	300 MJ	300 MJ
Rendement énergétique	10 %	10 %	10 %
Durée interaction	1 msec	300 sec	3 sec
Puissance interaction	50 GW	< 100 kW	< 10 MW

Fig 9 Comparaison des effets d'un projectile et de faisceaux lasers de 100 kW et 10 MW sur une cible d'acier située à une distance de 2 km.

Hypothèses effectuées:
- le projectile a un diamètre de 4 cm. Son poids est de 4 kg. La propulsion est due à 10 kg de poudre représentant une énergie totale de 50 MJ. Les vitesses initiales et finales sont de 1800 et 1500 m/s.
- les lasers au CO_2 sont équipés d'un miroir de sortie de 1.5 m de diamètre.

Une cible d'acier d'une épaisseur de 350 mm est située à une distance de 2 km. A cette distance, un miroir de sortie permet de focaliser l'énergie des lasers sur une surface de 10 cm^2, produisant des intensités respectives de 10^4 et de 10^6 W/cm^2, c'est-à-dire des intensités admissibles pour une interaction efficace entre le laser et le blindage. (Au delà de 10^6 W/cm^2, le laser induit une ionization de la vapeur issue du blindage, produisant un effet d'écran).

Il découle de cette comparaison que l'utilisation d'un laser à grande énergie est peu intéressante pour percer des cibles "résistantes" telles que des blindages d'acier; il faut cependant considérer qu'un engin tel qu'un char est équipé aussi d'accessoirs vitaux, (antennes, fenêtres, etc) qui eux constituent des cibles "peu résistantes"; cibles bien plus menacées que les blindages.

5. Projets en cours de réalisation

Si la situation en URSS dans le domaine des lasers de grande énergie est encore mal connue, on dispose en revanche d'informations plus détaillées quant à la situation aux Etats-Unis.

Les américains visent actuellement 2 buts différents:

- la réalisation de lasers de grande énergie mis sur orbite
- la réalisation de lasers de grande énergie utilisables sur terre (systèmes mobiles au sol, aéroportés ou équipant des navires de guerre)

5.1. Lasers de grande énergie sur orbite

Pour une utilisation dans l'espace, le choix se porte actuellement sur les lasers chimiques, dont le combustible peut aisément être transporté et stocké. La consommation en combustible d'un laser chimique quasi-continu HF ou DF d'une puissance de 1 MW serait d'environ 1 - 2 kg par seconde.

Or l'énergie émise en 1 seconde par un tel laser permettrait déjà d'endommager sérieusement ou de détruire un satellite ou un missile, ces cibles pouvant être considérées comme des cibles "peu résistantes". Un tel laser, avec ses systèmes auxiliaires, ne pèserait que quelques tonnes. La mise sur orbite d'un tel système devient sans aucun doute possible, avec la navette spatiale, capable d'emmener des charges de 10 tonnes à plus de 1000 km d'altitude. Les USA veulent démontrer d'ici 1984 que la mise sur orbite d'une plateforme contenant un laser chimique est chose possible.

5.2. Lasers de grande énergie au sol, en l'air ou sur mer

L'Army Missile Command développe aux Etats-Unis un véhicule expérimental équipé d'un laser de grande énergie et de systèmes de tracking et de pointage. Le but de ce développement est de tester dans des conditions "réelles" le comportement des différents systèmes. Monté dans un véhicule tout-terrain, un laser de grande énergie et ses systèmes auxiliaires sont soumis à des contraintes très rudes (vibrations, chocs) pour un ensemble dont la précision est de l'ordre du microradian.

L'armée de l'air (USAF) envisage l'utilisation de lasers de grande énergie pour la défense de ses bombardiers. Elle a construit un laboratoire laser volant dans un avion de type Boeing KC-135. Ce laboratoire a été équipé d'un laser de 15 kW du type "décharge électrique" au dioxide de carbone, dans le but de tester la sensibilité de ce système aux vibrations et d'effectuer des tests de propagation du faisceau dans l'atmosphère à haute altitude.

La marine (US NAVY) teste aujourd'hui des lasers chimiques au DF qui pourraient être utilisable pour intercepter sur des distances de 1 à 2 km des missiles volant à basse altitude. Ainsi en 1978, un missile du type Tow aurait été abattu en vol, au dessus d'un terrain d'essai, à l'aide d'un laser au DF de la firme TRW et d'un système de pointage et de tracking de la firme Hughes. Il s'agit-là certes d'un succès tant pour les systèmes auxiliaires que pour le laser de grande énergie, mais il faut cependant se garder d'extrapoler sans précautions un tel résultat au cas réel d'un champ de bataille.

6. Faisceaux lasers et faisceaux de particules

Comparées aux données sur les lasers, les données dont on dispose aujourd'hui sur les faisceaux de particules sont encore rudimentaires. Si à partir de 1960 déjà, l'idée d'utiliser un jour des lasers de grande énergie comme arme a été envisagée, ce n'est guère, qu'à partir de 1977, à notre connaissance, qu'on a sérieusement considéré la possibilité d'intégrer des accélérateurs de particules dans des systèmes d'armes. Si une comparaison en tous points de ces différents systèmes est donc prématurée, une comparaison en certains points est cependant possible.

Il convient de distinguer deux catégories de faisceaux de particules:

- les faisceaux de particules chargées et
- les faisceaux de particules neutres

Les premiers pourraient être utilisés dans l'atmosphère terrestre pour intercepter, sur de courtes distances, des missiles ou des projectiles guidés, mais, en dehors de l'atmosphère, ils subissent sous l'effet des charges d'espace une défocalisation, et, de plus, leur trajectoire est difficile à contrôler, car elle est influencée par le champ magnétique terrestre. Les seconds, utilisables dans l'espace, pourraient servir à endommager des satellites ou des stations spatiales. Avec les projets "Chair Heritage" et "Sipapu", les américains commencent à explorer ces nouvelles possibilités.

Quant à l'état des travaux soviétiques dans ce domaine, des informations récentes permettent de croire que les russes disposent déjà de faisceaux d'électrons utilisables pour des tests d'interactions.

6.1. Le projet "Chair Heritage"

Récemment vient de débuter aux Etats Unis, sous le nom de "Chair Heritage" une étude de faisabilité pour la réalisation, d'ici 1982 d'un accélérateur d'électrons ayant une énergie de 50 MeV et un courant de 10 kA. Cette étude, entreprise par la Navy devrait permettre, dans un stade ultérieur, la mise au point d'une arme à faisceau d'électrons ayant une énergie de 500 MeV.

L'énergie d'une impulsion d'électrons pourrait atteindre 1 MJ. Une telle arme, de faible portée, équipant des navires de guerre servirait à leur défense en interceptant, en vol, des engins guidés. Parmi les problèmes à résoudre, citons le stockage d'énergies de plusieurs MJ devant être disponibles en un temps très bref à des tensions très élevées (MV) de même que la nécessité de réaliser des systèmes compacts.

6.2. Propagation dans l'atmosphère

De façon générale la propagation de faisceaux de particules dans l'atmosphère est encore mal connue. Une analyse théorique de ce problème permet cependant de penser qu'une succession bien déterminée d'impulsions devrait permettre à un faisceau de se creuser un tunnel à travers l'atmosphère. Chaque impulsion, en effet, produit sur un segment de trajectoire une ionisation suivie d'une raréfaction de l'atmosphère. Il serait ainsi possible à un faisceau de se propager sur des distances de plusieurs kilomètres moyennant une perte d'énergie de 0.1 - 1 MJ/km.

L'accélateur du project "Chair Heritage" permettrait dès 1984 de tester l'effet d'un faisceau d'électrons sur des cibles dont la distance pourrait atteindre 5 km.

6.3. Interaction avec les matériaux

L'interaction de faisceaux de particules avec des matériaux est un phénomène encore mal connu. Des essais préliminaires effectués en URSS laissent croire qu'un faisceau d'électrons est capable de détruire des matériaux sans qu'un effet thermique important ne se produise.

6.4. Le projet "Sipapu"

L'US Army cherche à réaliser, dans le cadre de ce projet, un faisceau de particules neutres, produit de la façon suivante: des ions hydrogène accélérés à l'aide d'un accélérateur linéaire sont neutralisés dans un dispositif d'échange de charges. On ignore encore les caractéristiques du système, qui nécessitera une source d'énergie importante. Celle-ci pourrait être une source chimique ou un réacteur nucléaire, dont un modèle est actuellement en développement pour des applications spatiales. Le tout pourrait être mis sur orbite à l'aide de la navette spatiale. Un tel système pourrait fort bien concurrencer une arme laser mise sur orbite. Il est encore cependant trop tôt pour comparer les performances de ces différents systèmes.

7. Conclusion

La question d'une utilisation future de lasers à grande énergie comme arme est aujourd'hui encore une question controversée. Cela a pour cause le fait que, si le développement des lasers à grande énergie et des systèmes auxiliaires est déjà fort avancé, leur utilisation couplée n'en est qu'à ses débuts, et l'information qui nous parvient quant aux résultats des premiers tests est peu abondante. La faisabilité sur le plan technique de tels systèmes ne garanti pas à elle seule leur utilisation future. Des considérations d'ordre tactique ou stratégique, non examinées ici, pourraient jouer un rôle important dans un tel choix.

C'est au plus tôt entre 1985 et 1990 que des lasers à grande énergie pourraient être utilisés, et ce serait avant tout contre des cibles peu résistantes ou fragiles plutôt que contre des blindages épais. Une utilisation contre des cibles dans l'espace offre en particulier des possibilités nouvelles.

Enfin, d'autres systèmes, tels que des armes à faisceaux de particules dont le stade de développement est encore aujourd'hui très précoce, pourraient un jour concurrencer les lasers. Il est cependant encore trop tôt pour établir une comparaison valable entre ces systèmes.