

Étude des phénomènes hydrodynamiques induits à la surface de matériaux solides par un rayonnement laser UV

G. Nicolas et M. Autric

IRPHE - LP3, Parc Scientifique et Technologique de Luminy, 163 avenue de Luminy, Case 918, 13009 Marseille, France

Résumé : La visualisation d'un rayonnement laser UV impulsionnel suffisamment focalisé sur un matériau solide a permis d'observer et de déterminer les évolutions des phénomènes engendrés (plasma et ondes de choc) pour différentes conditions d'irradiation. Grâce aux dispositifs expérimentaux réalisés, des régimes hydrodynamiques différents ont été mis en évidence entre la durée d'impulsion et après celle-ci. De plus des structures complexes nouvelles ont été photographiées.

Une irradiation laser UV intense induit sur un matériau solide, non seulement des effets physico-chimiques au niveau de la surface mais aussi des phénomènes hydrodynamiques qui apparaissent et se développent au dessus de cette dernière. Le présent travail a été consacré à l'étude de ces différents phénomènes par visualisations avec des caméras ultra-rapides. La source laser utilisée a été un laser à exciplexes KrF émettant à 248 nm avec une durée d'impulsion de 20 ns. Les matériaux irradiés dans l'air et avec différents gaz de couverture (He, Ar et N₂) ont été des céramiques (Al₂O₃, ZrO₂, SiO₂, AlN et SiC) et des métaux (A5 et AU4G).

Lorsque la densité de puissance est suffisante pour vaporiser les couches de surface et créer un plasma, l'air comprimé par l'éjection de matière provenant de la zone irradiée provoque la formation d'une onde de choc. Cette dernière appelée onde de souffle se propage en sens inverse du faisceau laser et sa structure dépend de la forme géométrique du dépôt d'énergie, c'est-à-dire du faisceau laser.

La formation ainsi que l'évolution spatio-temporelle du plasma et de l'onde de souffle ont été observé avec un dispositif de visualisation (figure 1) constitué d'un système d'éclairage et de deux caméras ultra-rapides, la première, une CCD intensifiée (Hamamatsu) permettant d'obtenir une prise de vue à un instant donné (mode *image instantané*), la deuxième (Imacon 790) pouvant fonctionner suivant deux modes différents: en mode *image par image* permettant de sélectionner jusqu'à 8 photos à une cadence comprise entre 10⁴ images/s et 2.10⁷ images/s, et en mode *balayage de fente*, configuration dans laquelle l'évolution temporelle d'une tranche du phénomène désiré est obtenue sur un cliché avec des vitesses de balayage comprises entre 1 ns/mm et 1 µs/mm. L'utilisation de plusieurs modes de visualisations a notamment permis de mettre en évidence un changement de régime hydrodynamique après la fin de l'impulsion.

Ces méthodes déjà utilisées ont montré l'écoulement du plasma et de l'onde de souffle pour différentes longueurs d'ondes et pour différents matériaux. Toutefois, l'originalité de ce travail a été d'observer les phénomènes cités pour différentes conditions d'irradiation et pour les matériaux choisis, et tout particulièrement les céramiques (Al₂O₃, ZrO₂, SiO₂, AlN et SiC), mais surtout d'observer d'autres phénomènes non répertoriés, qui apparaissent et se développent, aussi bien, peu de temps après l'impulsion, que très longtemps après (plusieurs ms). En effet, jusqu'à présent, les observations ne se sont portées que sur le plasma et l'onde de choc, car relativement faciles à visualiser. Mais avec un dispositif comportant un éclairage suffisant et un fort grandissement, il apparaît

de nouvelles structures que nous dénommerons structures induites par laser (LIS) et qui se forment au dessus de la surface irradiée. Ces LIS ne dépendent pas du matériau et ont toujours la même géométrie quasiment constante pendant plusieurs μs pour ensuite croître axialement et radialement, et former un nuage ayant la forme d'un champignon qui se décollera totalement de la surface et entraînera d'importantes turbulences présentes pendant plusieurs ms. Ce phénomène est très similaire à une explosion nucléaire qui se produirait au niveau du sol et dans laquelle un nuage se dégagerait de l'impact avec des turbulences. De plus, pour la première fois, plusieurs fronts d'onde choc ont été observés dans ce type d'expériences. En effet, en plus de l'onde de souffle "classique", de nouveaux fronts d'onde sont apparus, un premier derrière la cible, et ce pour des matériaux opaques et transparents et, d'autres émanant toujours de la surface et se propageant dans la même direction que l'onde de souffle. La durée et la vitesse de tous ces phénomènes dépendent de la densité de puissance appliquée.

Ces expériences ont été réalisées afin de décrire, d'un point de vue hydrodynamique, l'interaction résultant de matériaux solides soumis à des impulsions UV courtes (quelques dizaines de ns). Une comparaison avec des modèles connus a été également effectuée. L'objectif final est d'expliquer de façon plus précise ces phénomènes et de corrélérer l'hydrodynamique avec les modifications qui interviennent au niveau de la surface irradiée du matériau.

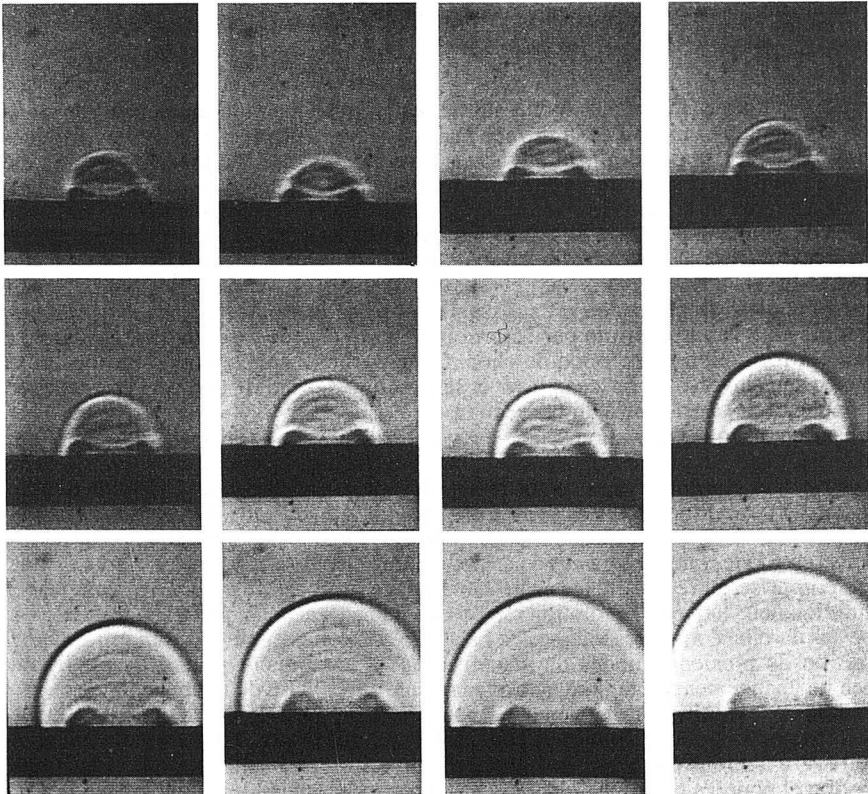


Figure 1 : Evolution des phénomènes qui se produisent au-dessus de la surface irradiée.