



**HAL**  
open science

# COMPACTION DYNAMIQUE DE POUDRES METALLIQUES PAR CHOC LASER

P. Darquey, J. Romain, M. Hallouin, F. Cottet

► **To cite this version:**

P. Darquey, J. Romain, M. Hallouin, F. Cottet. COMPACTION DYNAMIQUE DE POUDRES METALLIQUES PAR CHOC LASER. Journal de Physique Colloques, 1988, 49 (C3), pp.C3-425-C3-429. 10.1051/jphyscol:1988361 . jpa-00227784

**HAL Id: jpa-00227784**

**<https://hal.science/jpa-00227784>**

Submitted on 4 Feb 2008

**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.

## COMPACTION DYNAMIQUE DE POUDRES METALLIQUES PAR CHOC LASER

P. DARQUEY, J.P. ROMAIN, M. HALLOUIN et F. COTTET

*Laboratoire d'Energétique et Détonique URA 193, ENSMA,  
F-86034 Poitiers Cedex, France  
et LULI, Ecole Polytechnique, F-91128 Palaiseau Cedex, France*

**Résumé** - Des poudres d'aluminium sont soumises à l'action d'ondes de choc engendrées par impulsion laser. Le passage de l'onde de choc à travers la poudre produit une densification et une consolidation superficielles. Les effets sont semblables à ceux produits par choc conventionnel, mais la compaction est observée sur de faibles profondeurs à cause du temps de maintien très court de la pression.

**Abstract** - Shock waves are generated by laser pulses in aluminum powder targets. The passage of the shock wave produces a densification and a consolidation of the powder on a small depth under the irradiated surface. Effects are similar to those of conventional shocks, but are observed on short distances as a consequence of the short duration of the pressure pulse.

### 1 - INTRODUCTION

La compaction dynamique de poudres est couramment réalisée par les procédés classiques de génération d'ondes de choc : explosifs et impacts de plaques. Elle permet d'élaborer des matériaux jusqu'à une densité voisine de la densité du solide cristallin en mettant en jeu un ensemble complexe de processus : déformation et mise en mouvement des grains, frottements, fusion superficielle, formation et capture de jets, qui aboutissent à la consolidation de la poudre.

Par rapport à la compaction isostatique à chaud, où le temps de maintien prolongé en pression et en température est responsable de réactions indésirables telles que changements de phase, recristallisation et croissance des grains, la compaction dynamique présente des avantages liés essentiellement à la rapidité du processus. En effet, la compaction dynamique s'effectue à l'échelle de temps de la microseconde et permet de conserver au milieu dense consolidé les propriétés intrinsèques initiales des poudres dont il est issu. Elle permet enfin d'élaborer des matériaux difficiles à obtenir par pressage isostatique. C'est pourquoi le procédé est très étudié depuis quelques années sur des matériaux divers : métaux, alliages, céramiques et polymères /1, 2, 3/.

Les pressions mises en oeuvre en compaction par choc classique, quelques dizaines ou quelques centaines de kilobars, sont accessibles par choc laser au moyen de lasers à impulsions de forte puissance, lorsque le flux incident dépasse  $10^{10}$  W/cm<sup>2</sup>. On peut également mettre en oeuvre des procédés d'amplification par confinement de plasma /4/. A flux très élevé,  $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>, la pression peut même atteindre plusieurs mégabars /5, 6/. La différence essentielle entre chocs conventionnels et chocs laser porte sur le temps de maintien de la pression : plusieurs microsecondes ou dizaines de microsecondes en choc conventionnel et seulement quelques nanosecondes ou dizaines de nanosecondes en choc laser.

L'objet de cette étude est donc de tester les possibilités de réaliser une compaction dynamique par choc laser avec un temps de maintien en pression très court et, en conséquence, un amortissement rapide de l'onde de choc induite dans la cible, laissant prévoir une compaction éventuelle sur de faibles profondeurs. Si le procédé se révèle applicable, il est intéressant à un double titre : d'abord il permet de reproduire en laboratoire, sur des cibles de petites dimensions, les effets de charges explosives ou d'impacts nécessitant la mise en oeuvre de moyens lourds, donc d'étudier plus facilement les processus fondamentaux de compaction dynamique, ensuite il peut être utilisé pour densifier et consolider superficiellement des poudres précompactées statiquement.

## 2 - MATERIAUX, DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Ces premiers essais de compaction par choc laser ont été réalisés sur des poudres d'aluminium qui se consolident aisément par choc conventionnel et constituent donc un matériau test pour les chocs laser. Deux types de poudres ayant des grains de diamètre moyen  $30\ \mu\text{m}$  et  $5\ \mu\text{m}$  ont été utilisés. Les grains ont une forme irrégulière (Fig.1) facilitant la réalisation d'échantillons précompactés statiquement par simple accrochage mécanique des grains entre eux.

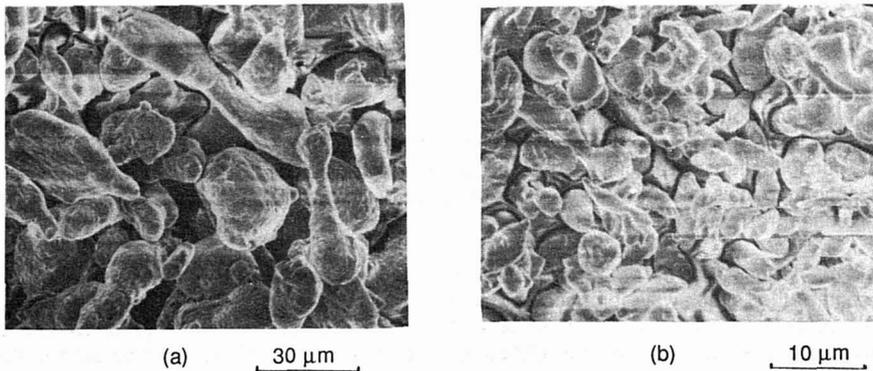


FIG.1- Photographies au microscope électronique à balayage des poudres d'aluminium utilisées pour les expériences de compaction par choc laser.(a) poudre  $30\ \mu\text{m}$ , (b) poudre  $5\ \mu\text{m}$ .

Les cibles sont élaborées sous la forme de disques de  $24\ \text{mm}$  de diamètre et  $2\ \text{mm}$  d'épaisseur, par pressage de la poudre à froid jusqu'à une densité de l'ordre de  $60\%$  de la densité du solide. Elles sont insérées entre un socle d'aluminium et une lame de verre transparente au rayonnement laser, destinée à confiner le plasma généré par l'absorption de l'énergie laser à la surface de la cible et à l'origine du choc induit dans celle-ci (Fig.2). Ce dispositif a pour but d'accroître l'impulsion mécanique reçue par la cible [4], en particulier le temps de maintien en pression, donc de créer des conditions plus favorables pour une compaction en profondeur. Dans quelques expériences, une feuille mince d'aluminium a été introduite entre la poudre et la lame de verre. L'onde de choc est alors induite dans la feuille puis transmise à la poudre, ce qui permet d'éviter les effets thermiques directs du plasma sur la couche superficielle de poudre et de plaquer la feuille métallique sur la poudre par effet de choc.

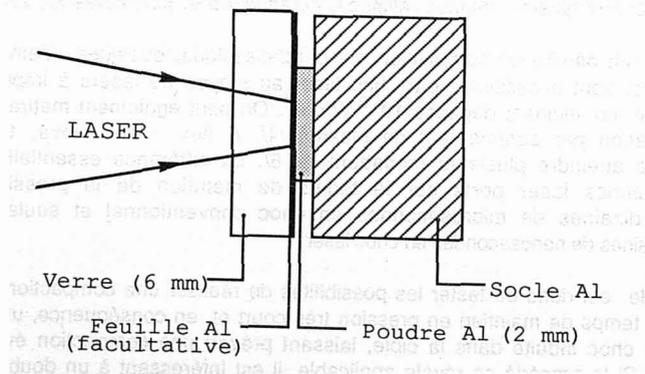


FIG.2 - Schéma du dispositif de compaction par choc laser

Les expériences ont été réalisées en partie au moyen du laser du L.E.D. à l'ENSM, fonctionnant à  $0,53 \mu\text{m}$  de longueur d'onde, en impulsions de 25 ns focalisées sur la cible selon une tache de 2 mm de diamètre à un flux incident de  $2.10^9 \text{ W/cm}^2$ . Une autre série d'expériences a été effectuée au moyen du laser du LULI à l'Ecole Polytechnique, à  $1,06 \mu\text{m}$  de longueur d'onde, en impulsions de 3,5 ns, un diamètre de surface irradiée de 5,5 mm et un flux incident de  $4.10^{10} \text{ W/cm}^2$ . Les mesures d'impulsion mécanique réalisées dans cette configuration d'irradiation ont révélé une amplification de l'ordre de 100 par rapport aux expériences d'ablation directe en plasma non confiné (sans lame de verre) /4/. Mais, ni la pression induite dans la cible ni le temps de maintien de cette pression ne sont déterminés séparément. En régime d'ablation directe, la pression est de quelques kilobars à  $2.10^9 \text{ W/cm}^2$  et quelques dizaines de kilobars à  $4.10^{10} \text{ W/cm}^2$ . On peut estimer que dans les mêmes conditions d'irradiation, mais en plasma confiné, les pressions induites sont respectivement de l'ordre de quelques dizaines et quelques centaines de kilobars.

### 3 - RESULTATS EXPERIMENTAUX

La figure 3 montre la microstructure d'une poudre de  $30 \mu\text{m}$  compactée par choc laser. Dans cette expérience, la surface de la cible était initialement recouverte par une feuille d'aluminium sur laquelle l'impulsion laser était focalisée. Les conditions d'irradiation sont celles précitées concernant le laser du L.E.D., donc la pression induite est estimée à quelques dizaines de kilobars. La poudre est consolidée sur une profondeur de plusieurs grains, aplatis par le passage du choc et soudés les uns aux autres. On remarque que la feuille d'aluminium est complètement plaquée sur la poudre, avec des enfoncements caractéristiques en forme de coins, résultant d'une pénétration par jet entre certains grains de la couche superficielle. Cet effet, typiquement dynamique, n'a été observé jusqu'ici qu'à plus grande échelle en compaction par plaque projetée /7/ et montre que les chocs laser sont capables de produire des effets de compaction semblables à ceux de chocs conventionnels.

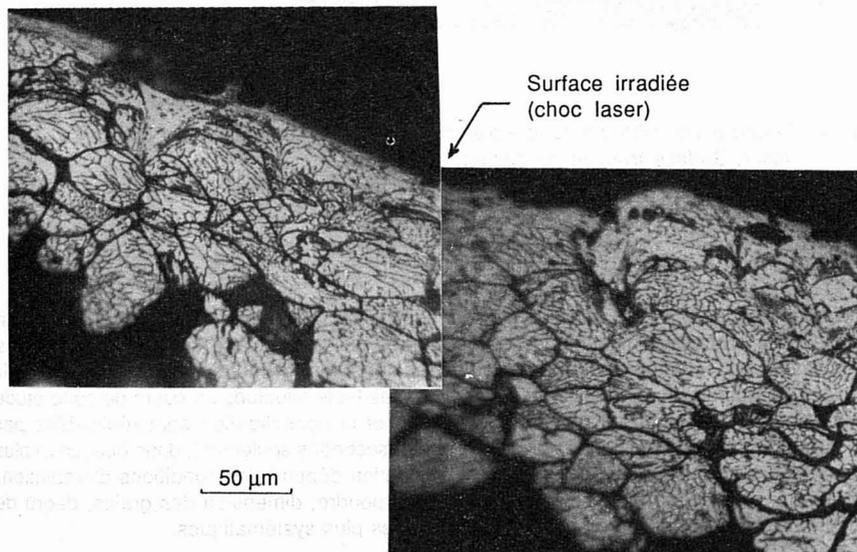


FIG.3 - Micrographie d'une poudre d'aluminium ( $30 \mu\text{m}$ ) compactée par choc laser. Surface irradiée de diamètre 2 mm. Impulsion laser : longueur d'onde  $0,53 \mu\text{m}$ , flux  $2.10^9 \text{ W/cm}^2$ , durée 25 ns. La surface de l'échantillon était recouverte par une feuille d'aluminium de  $20 \mu\text{m}$  d'épaisseur.

La figure 4 représente la coupe d'un échantillon de poudre d'aluminium de  $5 \mu\text{m}$ , sans feuille de couverture, compactée au moyen du laser du LULI à flux incident de  $4.10^{10} \text{ W/cm}^2$ . La pression induite dans ces conditions est estimée à quelques centaines de kilobars. La poudre a subi une forte compression se traduisant par un enfoncement important de la surface irradiée. On remarque également, au centre de la cible, la présence d'une fracture parallèle à la surface et attribuée à un phénomène classique d'écaillage dynamique. En effet, l'onde de choc incidente dans la poudre se réfléchit d'abord en onde de choc sur l'interface poudre-socle, car l'impédance de choc de la poudre est inférieure à celle du socle. Cette onde réfléchie traverse la cible en sens inverse et subit une nouvelle réflexion en traction sur la face avant de la cible décollée de la plaque de verre; cette onde de traction est à l'origine de la fracture formée. On observe ainsi que l'onde de choc incidente n'est pas notablement amortie après la traversée de l'épaisseur initiale de la cible et que la compaction peut donc se produire sur une profondeur de l'ordre du millimètre ou davantage. Une analyse métallurgique détaillée est toutefois nécessaire pour obtenir des indications plus précises sur la profondeur effective de consolidation. La présence de fractures latérales à l'extérieur de la zone centrale est liée à la réflexion du choc sur les bords non confinés de la cible.

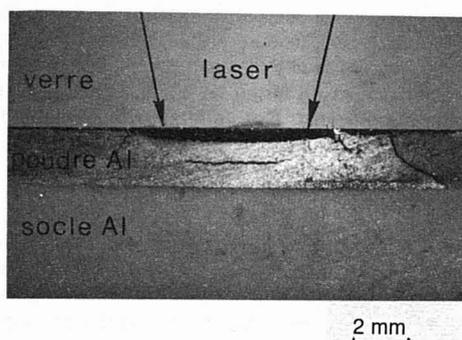


FIG.4 - Coupe d'une cible de poudre d'aluminium ( $5 \mu\text{m}$ ) compactée par choc laser. Surface irradiée de diamètre 5,5 mm. Impulsion laser : longueur d'onde  $1,06 \mu\text{m}$ , flux  $4.10^{10} \text{ W/cm}^2$ , durée 3,5 ns.

#### 4 - CONCLUSION

La transition de l'état de poudre à l'état dense consolidé sous l'effet d'une onde de choc met en jeu un ensemble complexe de processus mécaniques et thermiques qui doivent être suffisamment rapides pour que la porosité soit éliminée et pour que les liaisons intergranulaires puissent s'établir pendant le passage de l'impulsion de pression. Les résultats des tests effectués au cours de cette étude sur des poudres d'aluminium montrent que la densification et la consolidation sont réalisables par choc laser en durée d'impulsion de quelques dizaines de nanosecondes seulement, donc beaucoup plus courte qu'en choc conventionnel. La profondeur de consolidation dépend des conditions d'irradiation. Le rôle des nombreux paramètres du système : nature de la poudre, dimension des grains, degré de porosité, géométrie de la cible est à préciser au cours d'études plus systématiques.

#### REFERENCES

- /1/ Murr L.E., Staudhammer K.P. and Meyers M.A. editors, Metallurgical Applications of Shock waves and High Strain Rate Phenomena, Marcel Dekker, Inc .(1986).

- /2/ Raybould D. and Blazynski T.Z. in *Materials at High Strain Rates*, edited by T.Z. Blazynski, Elsevier Applied Science Publishers LTD, (1987) 71.
- /3/ Graham R.A. and Sawaoka A.B., editors, *High Pressure Explosive Processing of Ceramics*, Trans. Tech. Publications (1987).
- /4/ Fournier J., Fabbro R. et Fabre E. , C.R.A.S. 304, II, 17 (1987) 105.
- /5/ Cottet F., Romain J.P. , Fabbro R and Faral B. , J. Appl. Phys. 55, 11 (1984) 41.
- /6/ Fabbro R., Faral B., Virmont J., Cottet F., Romain J.P. and Pepin H., Phys. Fluids. 28, 11, (1985) 3414.
- /7/ Ahrens T.J., Thadhani N., Mutz A.N., Vreeland T., Schwarz R.B., Tyburczy J.A. , Shastri S.L.M. and Peng T.C., in Ref. /1/, 83.