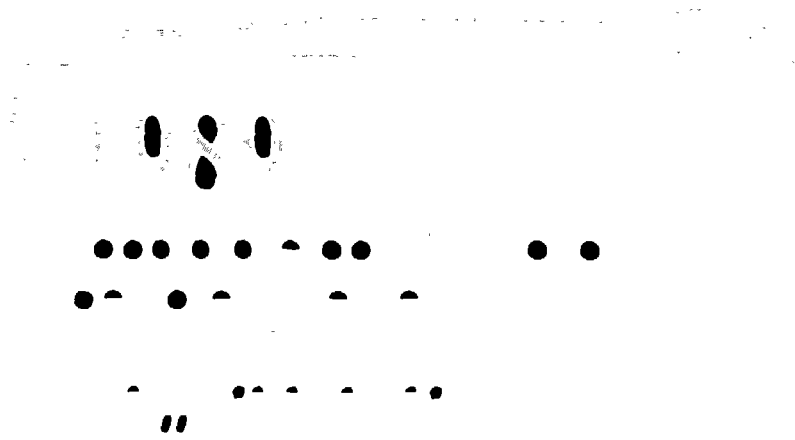


Ecole polytechnique  
Centre de recherche

**RAPPORT D'ACTIVITÉ**



**E**n 1794, à l'instigation de Gaspard MONGE et de Lazare CARNOT, la Convention crée, en pleine période révolutionnaire, l'Ecole Polytechnique destinée « à former des ingénieurs en tous genres, à rétablir l'enseignement des sciences exactes et à donner une haute formation scientifique à des jeunes gens, soit pour être employés par le Gouvernement aux travaux de la République, soit pour reporter dans leur foyer l'instruction qu'ils auront reçue et y prodiguer les connaissances utiles ».

Aujourd'hui l'Ecole Polytechnique c'est environ sept cent cinquante élèves présents à Palaiseau, plus de deux cents enseignants, près de neuf cents chercheurs, ingénieurs ou techniciens dans les laboratoires, environ cinq cents militaires et civils se consacrant à la formation des élèves et à la marche générale de l'établissement.

De notre longue tradition nous avons hérité deux principes qui guident notre action :

- viser l'excellence, sans cesse,
- cultiver la pluridisciplinarité, nécessaire aux formes multiples du savoir et du savoir-faire.

Dans un environnement aujourd'hui bien différent, notre mission demeure. Le monde a changé de si considérable façon que notre tâche est plus vaste et plus complexe. Et notre ambition doit s'étendre au-delà de l'hexagone.

Maurice BERNARD  
Directeur de l'Enseignement  
et de la Recherche

# LABORATOIRE POUR L'UTILISATION DES LASERS INTENSES

Directeur: **Edouard FABRE**  
Directeur de Recherche au CNRS

*Unité Mixte de Recherche  
CNRS - Ecole polytechnique 100  
Secteur SPI*

Tél. (33) (1) 60 19 41 12

## SOMMAIRE

PERSONNEL DE RECHERCHE	3
SYNTHESE DE L'ACTIVITE SCIENTIFIQUE	10
- INTERACTION LASER-MATIERE	10
- MODELISATION NUMERIQUE	12
- GENERATION DE HAUTES PRESSIONS	13
- IMPLOSIONS A 0,26 $\mu\text{m}$	13
- PHYSIQUE ATOMIQUE	14
- APPLICATIONS	15
ACTIVITE DES EQUIPES SCIENTIFIQUES DU LULI	16
- INTERACTION LASER-MATIERE	16
- INSTRUMENTATION X ET XUV	18
- EXPERIENCES D'IMPLOSION A 4 $\omega$	19
- ACCELERATION LASER DE PARTICULES	20
- CHOCS ET APPLICATIONS	21
- ACTIVITE DES GROUPES TECHNIQUES	22
PUBLICATIONS	25
REVUES SCIENTIFIQUES	25
COMMUNICATIONS A DES CONGRES	27
THESES	29
COLLABORATIONS EXTERIEURES NATIONALES ET INTERNATIONALES	30

## INTRODUCTION

Cette année a été la deuxième du fonctionnement du laboratoire LULI dans la structure unité mixte CNRS - Ecole Polytechnique, faisant suite au GRECO Interaction Laser-Matière. Ce changement a néanmoins amené quelques perturbations, induisant parfois une tendance dans certains cas à des relations Utilisateurs - Unité de Service, et dans lesquelles il apparaît clairement que le laboratoire n'a pas reçu le potentiel humain nécessaire pour en assumer le rôle.

L'utilisation des moyens n'a pas cessé cependant d'être très dense, avec 45 semaines disponibles pour les expériences, plus de quatre mille tirs dont plus de deux mille à pleine puissance.

L'implication des chercheurs ne cesse d'être grande comme on pourra le voir dans la synthèse des activités autour de l'installation, qui est présentée au début de ce rapport, avec les activités du groupe scientifique interne au LULI, ainsi que de nombreuses publications. Certains thèmes, sont en plein essor, Interaction, Laser X, Accélération de Particules, Physique Atomique ; d'autres se poursuivent mais nécessitent un effort plus important comme l'Implosion ; certains se développent comme l'Interaction à Bas Flux et l'Interaction en Impulsions brèves, qui font apparaître des thèmes nouveaux prometteurs.

Ceci démontre, s'il en est besoin, l'intérêt de ce type d'installation et sa nécessité pour satisfaire une demande croissante, associée à l'élargissement des programmes scientifiques, et les développements nouveaux qui apparaissent. La souplesse d'emploi au sens le plus large, nombreuses chambres d'interaction, configurations d'irradiation variées, impulsions laser très diversifiées en durée et longueur d'onde, est un critère qui est essentiel pour répondre effectivement aux demandes des programmes, et nous avons pu maintenir ces conditions grâce à une implication totale des personnels du laboratoire.

Cette souplesse doit maintenant être associée à une amélioration des performances du système, tant sur le plan énergétique que sur celui de la qualité optique du faisceau et son modelage temporel depuis les impulsions ultra-courtes jusqu'au profilage temporel.

La situation actuelle en locaux et personnel technique ne peut permettre de répondre à ces nécessités. Si certaines transformations comme l'accroissement en énergie ne seront bien évidemment concevables que dans un autre bâtiment et avec un personnel technique en adéquation avec les moyens, il est cependant urgent de procéder à des développements préliminaires dès maintenant. Ceci ne sera possible que par un réaménagement des locaux actuels avec des locaux provisoires, ainsi qu'une mise à niveau du potentiel ITA qui ne peut dans la situation actuelle que difficilement assurer la maintenance et en aucun cas procéder aux développements nécessaires.

Ces développements et ces efforts sont essentiels pour maintenir les moyens du laboratoire à un niveau réaliste en comparaison avec les installations civiles européennes ou autres de même grandeur. Ils nous permettront de jouer un rôle grâce à une certaine complémentarité dans les collaborations européennes qui s'établissent, avec les perspectives possibles d'un Centre Laser Européen de Grande Puissance. Notre laboratoire est impliqué au titre du CNRS dans la définition du projet, en collaboration avec des agences européennes de recherches de Grande Bretagne, R.F.A., Italie et Espagne. Ce projet de laser 100 kJ, courtes longueurs d'onde devra s'appuyer sur l'existence aux niveaux nationaux d'autres installations de plus petite dimension, agissant de façon coordonnée, où s'effectueront les formations de chercheurs, la préparation des programmes et les échanges nécessaires avant l'accès au Centre Européen. Ces perspectives ont considérablement motivé tant les chercheurs du laboratoire que les collègues du GILM, ainsi que de nouveaux groupes avec lesquels nous procédons à cette étude en association.

## **PERSONNEL DE RECHERCHE**

### **EQUIPES PARTICIPANTES**

- 1 - Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (E.Fabre) L.U.L.I Palaiseau
- 2 - Physique des Plasmas (P. Mora - D. Pesme) C.P.T. Palaiseau
- 3 - Ondes de choc laser dans les solides (J.P. Romain) E.N.S.M.A. Poitiers
- 4 - Spectroscopie Atomique des Plasmas (H. Nguyen) D.R.P. Paris
- 5 - Spectroscopie Atomique et Ionique (P. Jaeglé) L.S.A.I. Orsay
- 6 - Physique Atomique et diagnostics des plasmas (J.C. Gauthier) P.M.I. Palaiseau
- 7 - Ondes et Turbulence (G. Matthieussent) P.G.P. Orsay
- 8 - Simulation Numérique (J. Virmont) P.M.I. Palaiseau
- 9 - Interaction Laser-Matière (J. Briand) C.P.A.T. Toulouse
- 10 - Cinétique Non-Linéaire (C. Montès) L.P.M.C. Nice

# LABORATOIRE POUR L'UTILISATION DES LASERS INTENSES

Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex

Directeur : Edouard FABRE

Tél. 1 60 19 41 12

## ■ CHERCHEURS

François	AMIRANOFF	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
Patrick	BALLARD	Ingénieur X, DEA	Boursier CIFRE
Sophie	BATON	DEA	Boursière MRES
René	BENATTAR	Dr ès Sciences	Maître de Conférence Paris XI
David	DEVAUX	DEA	Boursier ENSET
Edouard	FABRE	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Bernard	FARAL	Dr Ingénieur X	Chargé de Recherche CNRS
Michel	KOENIG	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
Christine	LABAUNE	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Victor	MALKA	DEA	Boursier MRES
Jean-Raphaël	MARQUES	DEA	Boursier MRES
Alain	POQUÉRUSSE	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
Denis	RIVIÈRE	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
Christophe	ROUSSEAUX	DEA	Boursier MRES
Aybars	SEZEN	DEA	Boursier MRES
Christian	STENZ	Dr ès Sciences	Professeur Univ. Orléans

## ■ STAGIAIRES

Mirco	AMICI	Stagiaire Magistère Paris VII
Gilles	DEMOUCHY	Stagiaire DEA Paris VII
Alain	REPINGON	Stagiaire DEUST Laser Paris XI
Philippe	ROUILLE	Stagiaire Lycée Technique

## ■ COLLABORATEURS EXTERIEURS

Rémy	FABBRO	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Jean	FOURNIER	Ingénieur X-Dr X	Peugeot SA

## ■ VISITEUR

Anthony	DYSON	PhD	Boursier Royal Society
---------	-------	-----	------------------------

## ■ ITA

Françoise	ANGIBAUT	EP
Jean-Michel	BOUDENNE	CNRS
Daniel	CHISIN	CNRS
Pascal	GODEAU	CNRS

Raymond	KONIG	CNRS
Patrick	LEGRIEL	CNRS
Jean	MAIGNAN	Ingénieur EP
Alain	MICHARD	Ingénieur EP
Jean-Luc	PAILLARD	CNRS
Sylvain	SAVALLE	CNRS
Danielle	SMADJA	EP
Henri	TIMSIT	EP
Anne-Marie	TOURNADE	CNRS
Ji-ping	ZOU	CNRS

■ TUC

Catherine	ALDONCE
-----------	---------

## PHYSIQUE DES PLASMAS

Centre de Physique Théorique

Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex

Responsables : P. MORA, D. PESME

Tél : 1 69 41 82 00 p. 2053-2052

■ CHERCHEURS

Jean-Claude	ADAM	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Estelle	ASSEO	Dr ès Sciences	Chargée de Recherche CNRS
Anne	HERON	Dr ès Sciences	Chargée de Recherche CNRS
Guy	LAVAL	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Patrick	MORA	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
Philippe	MOUNAIX	DEA	Boursier MRES
René	PELLAT	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Denis	PESME	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Nicolas	SILVESTRE	Dr Université Paris VII	Ingénieur Armement

## ONDES DE CHOC LASER DANS LES SOLIDES

### Laboratoire d'Energétique et de Détonique

ENSMA, rue Guillaume VII, 86034 Poitiers

Responsables : J.P. ROMAIN

Tél : 49 60 50 50

#### ■ CHERCHEURS

Michel	BOUSTIE	DEA	Boursier CIFRE
Francis	COTTET	Dr ès Sciences	Professeur
Patrick	DARQUEY	DEA	Boursier MRES
Martine	HALLOUIN	Dr 3ème Cycle	Maître de Conférences
Didier	ZAGOURI	Ingénieur ENSMA	Scientifique du contingent
André	MIGAULT	Dr ès Sciences	Chargé de Recherches
Jean-Pierre	ROMAIN	Dr ès Sciences	Professeur

## SPECTROSCOPIE ATOMIQUE ET IONIQUE

### Département de Recherches Physiques

Université Paris VI, place Jussieu, 75230 Paris cedex 05

Responsable : H. NGUYEN

Tél : 1 43 54 42 01

#### ■ CHERCHEURS

Claire	BOUSQUET	Dr ès Sciences	Maître de Conférences Paris VI
Zoubeida	DHAOUADI		Boursière du Gouvernement tunisien
Brigitte	d'ETAT	Dr ès Sciences	Chargée de Recherche CNRS
Jeanne	GRUMBERG	Dr ès Sciences	Chargée de Recherche CNRS
Elisabeth	LEBOUCHER	Dr ès Sciences	Maître de Conférences Paris VI
Philippe	MALNOULT	Dr Université Paris VI	Stage post-doctoral
Hoe	NGUYEN	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
Laurent	TERRAY	Dr 3ème Cycle	Détaché au LLNL (Livermore USA)

## SPECTROSCOPIE ATOMIQUE ET IONIQUE

### Laboratoire de Spectroscopie Atomique et Ionique

Université Paris-Sud, Bât. 350, 91405 ORSAY CEDEX

Responsable: P. JAEGLÉ

Tél: 1 69 41 75 52

#### ■ CHERCHEURS

Galila	ABDELATIF	Master's Degree	Boursière MRES
--------	-----------	-----------------	----------------



<b>Antoine</b>	<b>CARILLON</b>	Dr es Sciences	Chargé de Recherche CNRS
<b>Brahim</b>	<b>DAFIRI</b>	DEA	Boursier MRES
<b>Fouad</b>	<b>GADI</b>	DEA	Boursier
<b>Bernard</b>	<b>GAUTHÉ</b>	Dr es Sciences	Maître de Conférence Paris VI
<b>Hélène</b>	<b>GUENNOU</b>	Dr es Sciences	Maître de Conférence Paris XI
<b>Pierre</b>	<b>JAÉGLÉ</b>	Dr es Sciences	Directeur de Recherche CNRS
<b>Gérard</b>	<b>JAMELOT</b>	Dr es Sciences	Chargé de Recherche CNRS
<b>Annie</b>	<b>KLISNICK</b>	Dr 3ème Cycle	Chargée de Recherche CNRS
<b>Michèle</b>	<b>LAMOUREUX</b>	Dr es Sciences	Chargée de Recherche CNRS
<b>Jean-Pierre</b>	<b>RAUCOURT</b>	DEA	Boursier DRET
<b>Alain</b>	<b>SUREAU</b>	Dr es Sciences	Directeur de Recherche CNRS

#### ■ ITA

<b>Michel</b>	<b>COUSY</b>	CNRS	
<b>Jean-Claude</b>	<b>LAGRON</b>	IN2P3	
<b>Clarie</b>	<b>MÖLLER</b>	Dr 3ème Cycle	Ingénieur Paris XI
<b>Christian</b>	<b>VINSOT</b>	IN2P3	

## PHYSIQUE ATOMIQUE ET DIAGNOSTIC DES PLASMAS CHAUDS

### Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés

Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex

Responsable : J.C. GAUTHIER

Tél. 1 69 41 82 00 poste 21 07

#### ■ CHERCHEURS

<b>Jean-Claude</b>	<b>GAUTHIER</b>	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS
<b>Jean-Paul</b>	<b>GEINDRE</b>	Dr ès Sciences	Chargé de Recherche CNRS
<b>Claude</b>	<b>CHENAIS-POPOVICI</b>	Dr ès Sciences	Chargée de Recherche CNRS
<b>Patrick</b>	<b>AUDEBERT</b>	Dr 3ème Cycle	Chargé de Recherche CNRS
<b>Nathalie</b>	<b>TRAJIN</b>	Dr Université Paris XI	Boursière MRI, depuis Février 89 / Rutherford Lab. GB.
<b>Christian</b>	<b>FIEVET</b>	Dr Université Paris XI	Boursier MRI, depuis Juillet 89 chez Merlin-Gérin.
<b>Isao</b>	<b>MATSUSHIMA</b>		Boursier gouvernement japonais rentré au Japon le 1er octobre 1989.
<b>S.</b>	<b>BAYLE</b>	DEA	Boursier MRI, prépare une thèse au CEA Limeil-Valenton.

## **ONDES ET TURBULENCE**

**Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas**

Université Paris XI Bat 212 91405 Orsay cedex

Responsable : G. MATTHIEUSSENT

Tél. : 1 68 41 70 22

### **CHERCHEURS**

<b>Arnaud</b>	<b>CHIRON</b>	DEA	Boursier MRES
<b>Brigitte</b>	<b>CROS</b>	Dr Université Paris XI	Bourse Chancellerie Univ. de Paris
<b>Gilles</b>	<b>MATTHIEUSSENT</b>	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS

### **■ ITA**

<b>Jacques</b>	<b>GODIOT</b>	Ingénieur CNRS
----------------	---------------	----------------

## **SIMULATION NUMERIQUE**

**Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés**

Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex

Responsable J. VIRMONT

Tél. : 1 61 41 82 00 poste 21 08

### **■ CHERCHEURS**

<b>Nicolas</b>	<b>GRANDJOUAN</b>	Dr 3ème Cycle	Chargé de Recherche CNRS
<b>Jean</b>	<b>VIRMONT</b>	Dr ès Sciences	Directeur de Recherche CNRS

## **INTERACTION LASER-MATIERE**

Université Paul Sabatier

118, route de Narbonne, 31077 Toulouse cedex

Responsable : J. BRIAND

Tél. : 61 55 68 69

### **■ CHERCHEURS**

<b>Cécile</b>	<b>ARNAS</b>	Dr Univ. de Toulouse	Chargée de Recherche CNRS
<b>L.</b>	<b>BELHABJALI</b>	Stagiaire DEA	
<b>Luc</b>	<b>BERGE</b>	Dr Université de Paris XI	Boursier DRET
<b>Jacques</b>	<b>BRIAND</b>	Docteur es sciences	Professeur
<b>J.P.</b>	<b>DINGUIRARD</b>	Dr ès sciences	Maitre de conférences
<b>Ph.</b>	<b>DOUSSEAU</b>	Stagiaire DEA	
<b>Alain</b>	<b>GOMES</b>	Dr ès sciences	Maitre de conférences

<b>Jean-Claude</b>	<b>KIEFFER</b>	Ph.D	Chargé de Recherche CNRS, actuellement au Canada
<b>P.</b>	<b>MARCEROU</b>	ENS	Maitre de conférences
<b>J.F.</b>	<b>MOOR</b>	Stagiaire DEA	
<b>D.</b>	<b>MOSTACCI</b>	Ph.D	Maitre de conférences
<b>Yves</b>	<b>QUEMENER</b>	Dr 3ème Cycle	Maitre de conférences
<b>R.L.</b>	<b>MOOP</b>		Professeur à Berkeley (Laboratoire de Livermore)

■ **ITA**

<b>M.</b>	<b>ARMENGAUD</b>	Ingénieur CNRS
<b>B.</b>	<b>LOMI</b>	CNRS

**CINETIQUE NON LINEAIRE**

**Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (U.R.A. 190)**

Parc Valrose. 06034 - NICE Cedex

Responsable : Carlos MONTES

Tél : 93 52 99 78

■ **CHERCHEURS**

<b>Jean</b>	<b>BOTINEAU</b>	Dr ès Sciences	Directeur de recherche au CNRS
<b>Olivier</b>	<b>LEGRAND</b>	Dr ès Sciences	
<b>Claude</b>	<b>LEYCURAS</b>	Dr ès Sciences	Maître de conférences
<b>Carlos</b>	<b>MONTES</b>	Dr ès Sciences	Directeur de recherche au CNRS
<b>Eric</b>	<b>PICHOLLE</b>		Boursier MRT

# SYNTHESE DE L'ACTIVITE SCIENTIFIQUE

Tous les travaux réalisés autour des installations du laboratoire sont effectués dans les différents domaines autant par les chercheurs du LULI que par les équipes extérieures, avec une forte interaction entre ces équipes.

Dans cette partie, la synthèse de l'activité traitera surtout du travail des équipes extérieures, celui des équipes intérieures étant reprise de manière plus détaillée par la suite.

De plus, une réflexion a été menée par tous les chercheurs de la collectivité dans le but de préparer un programme scientifique sur l'utilisation d'un laser européen de très grande puissance (European Laser Facility) et aussi de répondre à la question : quoi faire avec un laser de 100 kJ dans le bleu, ou un laser pouvant générer de très hautes intensités ( $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup>) ?

## INTERACTION LASER-MATIERE

### 1/ Interaction laser-matière dans le cadre des expériences de fusion

#### Travail théorique

Concernant l'interaction laser-matière dans le cadre des expériences de fusion, G. Laval, P. Mounaix, P. Mora et D. Pesme ont établi l'équation de propagation des ondes acoustiques ioniques dans un plasma en présence d'ondes plasma électroniques de grande amplitude. Cette équation intervient dans les équations de Zakharov qui décrivent aussi bien le couplage des instabilités Raman et Brillouin stimulées, que l'instabilité modulationnelle de l'onde plasma générée par le battement de deux ondes laser.

G. Laval, P. Mounaix, D. Pesme et N. Silvestre ont calculé, en collaboration avec M. Casanova du CEA Limeil, la réflectivité d'une tranche de plasma dans laquelle prend place une instabilité de rétrodiffusion en régime convectif, en fonction du niveau d'émission spontanée des ondes longitudinales.

D. Pesme, en collaboration avec E. Williams du LLNL et de D. Berger de KMS, a calculé l'effet de l'incohérence spatiale induite sur les instabilités paramétriques de rétrodiffusion.

C. Montès a montré les points suivants :

- étude théorique et expérimentale de la rétrodiffusion Brillouin stimulée non stationnaire;
- étude théorique de la limitation par la diffusion Brillouin stimulée des systèmes de communication par solitons dans les fibres optiques.

#### Travail expérimental

C. Labaune et S. Baton ont étudié :

La composante Stokes et anti-Stokes de la diffusion Raman arrière, les instabilités paramétriques en plasma homogène, la filamentation et l'autofocalisation du faisceau d'interaction. Des filaments ont été observés dans le cône d'irradiation du faisceau d'interaction. Ils peuvent être dus à l'inhomogénéité du plasma préformé. Elles ont mesuré une diffusion Raman élevée et tenté de la corrélérer à la filamentation.

Les principaux thèmes sur lesquels J. Briand et son groupe travaillent sont les suivants :

- du point de vue théorique, l'étude des équations de Zakharov et en particulier l'étude du collapse des ondes de Langmuir à taux de contraction anisotrope, l'invariance de jauge et collapse;
- du point de vue numérique, en code 1D (Chamissa), l'émission du rayonnement X dans l'interaction d'un faisceau laser avec une cible sphérique, en code 2D (DAISY), les problèmes de l'absorption associés aux différentes équations d'état.

Du point de vue expérimental, la mise en évidence de la turbulence forte de Langmuir dans le spectre de l'harmonique deux rayonné par un plasma à très haut flux, les corrélations importantes entre l'instabilité de décroissance paramétrique et l'instabilité paramétrique de filamentation, la mise en évidence de trains solitoniques associés au Brillouin, les interprétations étant faites à partir des équations de Zakharov. De fortes présomptions, en cours d'étude, laissent supposer que les instabilités de filamentation sont à l'origine de l'instabilité de R.T. Dans le domaine des faibles flux, par interférométrie résolue dans le temps, les expériences ont conclu à la création des plasmas par ondes de détonation.

## 2/ Accélération laser de particules

### Composante expérimentale

Un groupe composé de chercheurs du LULI, du Laboratoire PGP d'Orsay, et du Laboratoire PNHE de Palaiseau mène ce travail. Une étape importante dans cette étude sera la mesure du champ électrique généré par battement d'ondes. Ces travaux sont décrits de façon détaillée dans la contribution de F. Amiranoff et al.

### Composante théorique

P. Mora, en collaboration avec F. Amiranoff, a étudié le gain d'énergie d'un électron relativiste injecté dans une onde de plasma électronique de grande amplitude et de dimension longitudinale finie. Ils ont déterminé les seuils en énergie à partir desquels un électron peut être efficacement accéléré, en fonction des caractéristiques de l'onde dans des conditions idéales où les effets de dimension transverse finie peuvent être ignorés. P. Mora a écrit, par ailleurs, un code numérique tri-dimensionnel calculant les trajectoires des électrons injectés dans le champ de l'onde, et prenant en compte les effets de géométrie finie. Ce code permet d'optimiser les paramètres de l'expérience d'accélération à

partir des contraintes correspondant à l'énergie et la divergence des faisceaux laser, et à l'énergie et l'émission des électrons injectés.

## 3/ Interaction picosecondes et femtosecondes

Un nouveau thème a fait son apparition, c'est l'interaction d'un laser en impulsions courtes (100 fs à 1 ps) et à très haute intensité ( $10^{17}$ - $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup>) avec une cible ou un plasma.

Actuellement des réflexions tant du point de vue théorique qu'expérimental ont lieu, mais un laser ayant les caractéristiques mentionnées n'existe actuellement pas au LULI et des équipes telles que le groupe de JC Gauthier envisagent des collaborations extérieures.

L'utilisation prochaine de lasers très intenses à impulsions ultra-courtes permet d'envisager l'apparition dans les expériences d'interaction laser-plasma de phénomènes nouveaux d'origine relativiste. La création de paires électron-positron en est une illustration. G. Laval, J.F. Luciani, P. Mora, et D. Pesme ont estimé le taux de création de telles paires dans différentes configurations expérimentales, et pour des flux laser de l'ordre de  $10^{19}$  à  $10^{21}$  Wcm<sup>-2</sup>. Cette étude s'inscrivait dans le cadre du projet européen de laser de puissance «European Laser Facility» 1989.

D'autres études, à partir de laser picoseconde, sont menées, par J. Briand et son groupe, pour l'étude de l'absorption de l'onde laser par le plasma. Ces études conduisent à penser que les températures de tels plasmas restent faibles (de l'ordre de la centaine d'électron-volt\*).

Un rapport de perspectives sur les plasmas créés par des lasers à très haut flux a été établi par J. Briand.

L'utilisation de lasers femtosecondes permettra, dans un avenir de un à deux ans, d'atteindre des flux sur cible de l'ordre de  $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup>. Dans cette gamme de flux, de nouveaux effets - excitation en couche interne, force pondéromotrice agissant sur les couches externes de l'atome, perturbation du noyau - pourront être étudiés. Ces recherches sont à la limite de la physique des solides et de la physique des plasmas.

#### 4/ Interaction à bas flux

Enfin, l'interaction en bas flux laser en milieu confiné continue d'être étudiée, elle sera exposée spécifiquement dans le travail des chercheurs du LULI (D. Devaux, R. Fabbro).

### MODELISATION NUMERIQUE

Les codes et modèles numériques sont très importants pour interpréter les expériences. Les utilisateurs du laser (expérimentateurs) utilisent couramment le code hydrodynamique FILM tant en interaction, que pour l'étude des chocs et accélération de feuilles. Le code hydrodynamique XRAD, avec transport radiatif rend compte de façon qualitative de toute une classe d'expériences faisant entrer en ligne de compte le chauffage par rayonnement X. Ces codes sont au point actuellement et rendent de très grands services :

#### Code Hydrodynamique

En ce qui concerne les développements nouveaux concernant les codes hydrodynamiques trois faits manquants sont à noter :

1. *Modélisation de l'interaction laser-matière à bas flux pour un métal recouvert par un diélectrique.* (J. Virmont, D. Devaux).

A la suite de nouvelles expériences, des comparai-

sons plus précises ont pu être faites avec les simulations numériques, qui ont elles-mêmes bénéficié de nouvelles tables de données plus exactes. Ceci a permis de préciser un peu le mécanisme d'interaction.

2. *Génération de champ magnétique et modélisation bidimensionnelle eulérienne.* (N. Grandjouan)

La MHD de l'interaction laser-matière donne lieu à un système d'équations fortement couplées, très non linéaires, difficile à résoudre numériquement. Diverses améliorations apportées au schéma numérique ont permis de réduire considérablement le bruit. Nous avons réussi à observer de façon claire un transport du champ et de la température en dehors du faisceau laser.

3. *Autres activités*

Les résultats sur la convection eulérienne (N. Grandjouan) ont été complétés sur plusieurs points, et publiés. Même chose pour ceux sur le laser X par recombinaison (LSAI - J. Virmont).

#### Chocs Laser

Le groupe de Poitiers (J.P. Romain et al) a continué à développer ses propres simulations adaptées aux chocs laser dans les solides.

Le Code SHYLAC adapté à la simulation d'ondes de choc induites par impulsion laser en interaction confinée a été appliqué à l'analyse d'expériences dans des configurations variées (cibles massives, feuilles minces, surface arrière libre ou confinée). Les simulations restituent l'évolution de toutes les caractéristiques du processus de compression de la cible : profil de pression appliquée, amortissement du choc, mise en vitesse des matériaux, en intégrant tous les paramètres expérimentaux dont le rôle est mis en évidence avec précision.

Sur le plan de la simulation numérique, le code

SHYLAC, dans lequel un critère de rupture dynamique à dommages cumulatifs est implanté, a été modifié pour permettre d'une part la poursuite du calcul après rupture du milieu et d'autre part la prise en compte du phénomène de multiple-écaillage.

### Laser X

Dans le cadre de l'activité laser X (P. Jaegle et al), les simulations numériques ont amélioré la description de la phase de recombinaison du plasma, pendant laquelle les inversions de population apparaissent. En particulier les niveaux excités de l'ion lithiomoïde ont été pris en compte dans la description des processus d'ionisation et de recombinaison

## GENERATION DE HAUTES PRESSIONS

Deux directions sont suivies par les chercheurs du Groupement :

- le régime à très hautes pressions, supérieures à la centaine de mégabars, avec comme finalité l'obtention de données nécessaires à l'étude de la fusion inertielle (équations d'états, compréhension de la génération d'ondes de chocs);
- le régime à moyennes pressions, inférieures ou égales à 500 kilobars, dont l'intérêt est grand pour le traitement superficiel des matériaux.

Dans le premier régime, R. Fabbro et B. Faral ont continué à développer la technique de collision de feuilles accélérées. Ce travail est décrit de façon plus explicite dans la suite de ce rapport.

Le groupe de Poitiers a poursuivi l'étude des profils de choc sur le plan numérique par l'introduction du calcul de la température dans le code SHYLAC. Les

simulations mettent en évidence les différences de température dans un milieu comprimé par onde de choc ou par rampe de pression (compression quasi-isentropique).

Le processus d'écaillage a été étudié pour trois durées d'impulsion laser (0,6 ; 2 ; 25 ns) sur des cibles d'aluminium et de cuivre. Des expériences, réalisées sur des cibles structurées (cibles avec dénivellation sur la face arrière) ont été correctement simulées à l'aide d'un code bidimensionnel. L'analyse de l'ensemble de ces résultats expérimentaux permet d'une part de valider le critère de fracture dans le cas de l'aluminium et d'autre part d'obtenir les paramètres associés à ce critère dans le cas du cuivre.

Dans le régime des chocs de moyenne pression, le groupe de Poitiers et celui de l'Ecole Polytechnique étudient tant sur le plan numérique qu'expérimental le régime de l'interaction confinée par la paroi.

D'autre part, le durcissement de matériaux par chocs laser est étudié par P. Ballard (LULI), J. Fournier (Peugeot SA) et R. Fabbro (ETCA) à l'aide du laser du LULI. Cette étude est présentée dans la suite du rapport.

## IMPLOSIONS à 0,26 $\mu\text{m}$

Le programme implosion dont les résultats expérimentaux récents sont présentés de façon plus détaillée dans la contribution interne du LULI (E. Fabre, M. Koenig, A. Michard, A. Poquérousse, en collaboration avec P. Fews de l'Université de Bristol, et N. de Beaucondrey de l'Institut d'Optique d'Orsay) a pour objectif d'étudier la physique des implosions aux plus courtes longueurs d'ondes laser (0,26  $\mu\text{m}$ ) disponibles à hautes puissances, obtenues par quadruplage de fréquence du laser à

néodyme, longueur d'onde qui est très voisine de celle du laser à KrF (0,25  $\mu$ m).

Cette année les expériences d'implosion de micro-ballons de verre à haut rapport d'aspect ont été poursuivies dans le but de déterminer le rendement hydrodynamique, les caractéristiques (densité et température) de la paroi et l'uniformité de l'implosion.

Outre les diagnostics devenus usuels (émission neutronique, spectrométrie des particules  $\alpha$  et des protons par l'analyse des traces dans des feuilles de CR 39 en collaboration avec l'Université de Bristol, imagerie en rayons X par caméra sténopé ou à balayage de fente) nous avons également mis en place, grâce à une reconfiguration des diagnostics dans l'enceinte, deux spectrographes à rayons X et une caméra à image tomographique.

La multiplication du nombre de faisceaux et l'accroissement de l'énergie disponible est prévue pour les expériences à venir. L'amélioration de l'uniformité de dépôt de l'énergie doit être obtenue au préalable par effet de destruction de la cohérence de l'onde laser (ISI, SSD, RPM).

## PHYSIQUE ATOMIQUE

Deux voies importantes sont développées dans ce domaine :

- l'étude des plasmas denses et les diagnostics nouveaux s'y rapportant contribuant aux recherches sur la fusion inertielle ;
- la recherche sur le laser en rayons X.

### Plasmas Denses pour la Fusion Inertielle

- 1) La perturbation des systèmes atomiques et

moléculaires en milieux ultra-denses a été étudiée par H. Nguyen et son groupe de l'Université de Paris VI.

La forme spectrale et l'intensité des raies ont été évaluées de manière à tenir compte non seulement de l'interaction des atomes avec les ions et les électrons du plasma mais également du phénomène de transfert radiatif à travers un plasma fortement inhomogène.

Parallèlement, la méthode des champs auto-consistants couplant l'équation de Schrödinger relative aux électrons liés et l'équation de Poisson relative aux ions et électrons libres a permis d'envisager la possibilité de la formation des molécules transitoires dans les plasmas denses et chauds. Ces études théoriques sont accompagnées des expériences qui ont été effectuées en collaboration avec A. Poquérousse (LULI). En particulier :

a) Les satellites observés dans l'aile rouge proche de la raie F IX Lyman- $\beta$  émise par la zone dense du plasma ont pu être interprétés en termes de molécules transitoires ;

b) La variation de l'intensité des différentes raies de Al XIII et Al XII en fonction de l'épaisseur du plasma a pu être comparée avec les données théoriques et conduit à une méthode de diagnostic pour le gradient de température dans la direction transverse à l'axe de symétrie d'un plasma cylindrique.

2) Les travaux de spectroscopie sur les diagnostics des plasmas laser ayant un intérêt pour la fusion ont été poursuivis par J.C. Gauthier et son groupe en insistant sur la résolution spatio-temporelle des moyens d'analyse.

L'activité «Diagnostics plasma d'ions lourds» s'est terminée par la thèse de N. Tragin qui a montré la possibilité de mesurer la température et la densité électroniques d'un plasma d'or en utilisant les raies



d'un traceur - l'aluminium - comme moyen de diagnostic. Un raidissement du gradient thermique sous l'effet des pertes radiatives a été mis en évidence. Cette étude a permis de valider un modèle collisionnel-radiatif donnant l'émission d'un corps de Z élevé en fonction des paramètres du plasma.

L'activité «Spectroscopie d'absorption des transitions Ka» s'est beaucoup développée cette année avec l'arrivée d'un stagiaire japonais - I. Matsushima - et le travail de thèse de C. Fievet. Ils ont montré que cette technique permettait d'accéder au gradient de température dans la matière dense préchauffée par le rayonnement X d'une couche auxiliaire d'un matériau de Z élevé. La spectroscopie des raies Ka de l'aluminium, de la silice et du chlore a pu être menée à bien en collaboration avec le Laboratoire Aimé-Cotton. Cette technique a été étendue en utilisant une source ponctuelle qui a permis d'obtenir une résolution spatiale radiale de l'absorption. Le décalage temporel de la source auxiliaire a également permis de sonder le plasma en différents instants. Les mécanismes de saturation de l'absorption ont été étudiés. Le code hydrodynamique XRAD - avec transport radiatif - rend compte de façon qualitative des résultats expérimentaux.

3) L'étude sur le transfert radiatif par imagerie X-UV résolue dans le temps s'est poursuivie. R. Benattar et V. Malka ont pu mesurer l'effet du rayonnement X provenant du plasma créé par un laser à  $4\omega$  sur des cibles minces d'aluminium. Ce travail est présenté plus en détail dans la contribution interne au LULI.

## Laser en Rayons X

Dans le cadre des recherches sur le laser en rayons X, P. Jaeglé et son groupe ont recherché les conditions propres à optimiser l'amplification de rayonnement X dans le cas du schéma de recombinaison

pour les ions lithiomoïdes (aluminium, soufre) et hydrogénoïdes (carbone). Ils ont tenté en particulier d'accélérer le refroidissement du plasma en interposant une couche d'or de 50 à 100 Å d'épaisseur entre la couche active et le substrat. Ils ont entrepris par ailleurs l'étude d'une caméra à fentes croisées destinée à fournir une image anamorphosée de la colonne de plasma, de façon à obtenir un diagnostic de l'homogénéité à chaque tir. Enfin ils ont commencé l'étude de l'amplification dans une colonne de plasma de 20 mm scindée en quatre tronçons distants d'environ 10 mm l'un de l'autre; cette géométrie est destinée à diminuer le piégeage radiatif lié à l'émission de la zone de haute densité du plasma.

Dans le cadre des études théoriques, ils ont également étudié les populations des états excités d'un plasma d'hydrogène hors ETL et non maxwellien, et poursuivi l'étude du Bremsstrahlung dans les plasmas denses.

## APPLICATIONS

La collaboration avec la Société PSA continue en 1989 pour l'étude du durcissement par choc laser de matériaux. P. Ballard (LULI), J. Fournier (PSA) et R. Fabbro (ETCA Arcueil) sont responsables de ces applications. Leur travail est exposé plus en détail dans la contribution interne au LULI.

Par ailleurs des lasers de moyenne puissance (4J, 4ns) du laboratoire servent à développer les diagnostics en rayons X, pour les expériences de fusion.

# ACTIVITE SCIENTIFIQUE DES EQUIPES DU LABORATOIRE LULI

## INTERACTION LASER-MATIERE

S. Baton, C. Labaune (CNRS)  
H. A. Baldis, NRC, Ottawa (Canada)  
D. Giulietti, E. Schifano, CNR, Pise (Italie)

### Instabilités paramétriques en plasma homogène

Dans le contexte de la fusion par laser, on a étudié les instabilités de filamentation, d'autofocalisation et de diffusion Raman et Brillouin stimulées dans des plasmas longs et homogènes. Ces plasmas sont préformés par explosion de feuilles minces ; leur densité électronique est  $n_e = 1-2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , leur température électronique est de 300 eV environ et leur longueur est de l'ordre de 500  $\mu\text{m}$ . Le faisceau d'interaction ( $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ , flux maximum sur cible de  $10^{15} \text{ W/cm}^2$  pour une impulsion de 600 ps) est focalisé dans ce plasma le long de la direction d'homogénéité. Le but est d'étudier les instabilités elles-mêmes et de corréler les taux de Raman et de Brillouin avec la longueur du plasma et avec la filamentation.

#### *Etude de la filamentation et de l'autofocalisation du faisceau d'interaction*

Trois nouveaux diagnostics ont été implantés pour étudier la filamentation et l'autofocalisation.

Tout d'abord, un diagnostic schlieren à partir d'un faisceau sonde triplé en fréquence ( $\lambda = 0.35 \mu\text{m}$ ) et synchrone avec le faisceau d'interaction a permis d'obtenir des images transverses du plasma qui mettent en évidence des structures filamenteuses de diamètre d'une dizaine de microns et d'une longueur de quelques millimètres dans le cône d'irradiation du faisceau d'interaction.

Des images de la coupe transversale du plasma en son centre ont été obtenues en transmission avec un grandissement de 15. Deux caractéristiques principales ressortent : d'une part, en présence du plasma préformé, le faisceau d'interaction est défocalisé d'environ un facteur deux (le diamètre de la tache focale du faisceau d'interaction sans plasma étant de l'ordre de 70  $\mu\text{m}$ , avec plasma de 120  $\mu\text{m}$ ), d'autre part, les images font apparaître des inhomogénéités de 10 à 15  $\mu\text{m}$  à l'intérieur de la tache focale, en accord avec les observations en imagerie schlieren.

Enfin, un diagnostic de réfractométrie utilisant un ensemble de photodiodes placées à la sortie du plasma permet d'obtenir un diagramme angulaire de l'énergie du faisceau d'interaction réfracté par le plasma. Ce dernier a été confronté avec des calculs de propagation d'un faisceau dans un plasma préformé donnant la distribution angulaire de l'ensemble du faisceau d'interaction après la traversée du plasma. Ce diagnostic permet d'étudier essentiellement l'autofocalisation : en effet, si une dépression de densité se forme au centre du plasma, le diagramme angulaire fait apparaître un creux de chaque côté avec une concentration d'énergie au centre (le plasma piègeant le faisceau), ce que l'on retrouve au cours des expériences. Pour pouvoir observer la filamentation, une résolution angulaire beaucoup plus importante serait nécessaire.

Les petites structures observées soit par les images schlieren, soit par les images en transmission du plasma ne sont présentes que lorsque le faisceau

d'interaction irradie le plasma. Leurs dimensions sont en accord avec les lois d'échelle de la filamentation pondéromotrice :

$$\lambda_{rp} \sim 10^8 \lambda_0 (n_e/n_c)^{-1/2} (T_e / I \lambda_0^2)^{1/2}$$

pour  $\lambda_0 = 0.53 \mu\text{m}$ ,  $T_e = 0.3 \text{ keV}$ ,  $n_e = 2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  
 $I = 10^{15} \text{ W/cm}^2$ , on obtient :  $\lambda_{rp} = 9 \mu\text{m}$

#### **Diffusion Raman et Brillouin Stimulée**

Les spectres résolus en temps du Raman rétrodiffusé permettent de déterminer la densité électronique du plasma préformé et son évolution au cours de l'interaction. Typiquement, pour une feuille d'épaisseur initiale de 8000 Å, la densité varie de  $2.8 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  à  $2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  au cours de l'impulsion laser. Le taux de Raman varie de façon importante suivant l'épaisseur initiale de la feuille ; les feuilles d'épaisseur 8000 Å produisent un taux de Raman ~ 10 fois plus élevé que celles d'épaisseur 4000 Å ; ce taux est de l'ordre de  $6 \cdot 10^{-3}$ .

Les spectres de la rétrodiffusion à la fréquence fondamentale, associés à la diffusion Brillouin en plasma sous-critique, ont été enregistrés à la sortie du même spectrographe que celui utilisé pour le Raman; ils permettent donc d'étudier la corrélation temporelle entre le Raman et le Brillouin et la première analyse de ces spectres montre que l'émission à fréquence fondamentale s'arrête lorsque le Raman démarre. Ces résultats préliminaires sont intéressants sur le couplage entre ces deux instabilités, mais nécessitent des données supplémentaires.

#### **Conclusion**

En conclusion, des filaments ont été observés dans le cône d'irradiation du faisceau d'interaction, mais leur origine peut être liée à l'inhomogénéité du plasma préformé ou à des inhomogénéités spatiales du faisceau d'interaction. D'autre part, le

taux de Raman est élevé, mais pour établir une corrélation avec la filamentation, ces mesures doivent être effectuées dans un plasma dans lequel il est possible de contrôler les inhomogénéités. Ceci peut être obtenu, par exemple, en utilisant des lames de phase qui rendent le faisceau laser incohérent. Des premiers résultats avec de telles lames font apparaître des structures complètement différentes sur les photos en transmission.

Par ailleurs, les taux de Raman mesurés en plasma homogène préformé sous-dense peuvent être différents de ceux que l'on obtiendrait dans un profil de densité correspondant à l'irradiation d'un microballon dans une expérience d'implosion ; la présence des densités critique et quart-critique peuvent faire apparaître des ondes acoustique-ioniques liées à l'instabilité de rétrodiffusion Brillouin stimulée qui peuvent inhiber le développement du Raman et ainsi, conduire à des valeurs plus faibles que celles mesurées ici.

#### **Composantes Stokes et anti-Stokes de la diffusion Raman arrière**

Les composantes Stokes et anti-Stokes de la diffusion Raman stimulée vers l'arrière ont été observées dans deux types de plasmas : soit dans les plasmas longs et préformés tels que décrits au paragraphe précédent, soit dans les plasmas produits par explosion d'une feuille mince au moyen d'un faisceau laser. Dans les deux cas, ces deux composantes sont déplacées symétriquement en fréquence par rapport à la fréquence fondamentale; le déplacement correspond à la fréquence de l'onde plasma excitée lors du processus et varie au cours du temps. Cette variation peut être corrélée à la variation de la densité électronique du plasma et est plus lente dans les plasmas préformés, comme cela est observé dans les simulations numériques. Les structures spectrales et temporelles apparaissent dans les deux composantes et semblent être corrélées.

Bien que la composante anti-Stokes ne soit pas résonnante dans le couplage Raman vers l'arrière, celle-ci apparaît dans le spectre avec une intensité non négligeable par rapport à la composante Stokes. Le rapport d'intensité entre ces deux composantes dépend du plasma et est plus élevé dans le cas du plasma préformé ( $\sim 0.025$ ) que dans le plasma produit par une feuille mince à un faisceau ( $\sim 0.009$ ). Ce rapport d'intensité peut être relié au taux de croissance de l'instabilité et aux facteurs d'amortissement des ondes mises en jeu; il est donc intéressant la caractérisation de la diffusion Raman. De plus, le fait d'observer ces composantes dans un plasma dont la densité est inférieure au quart de la densité critique confirme la présence de la diffusion Raman stimulée comparée à la diffusion Thomson amplifiée.

permis de déterminer les températures de face arrière pour des épaisseurs de feuilles de 5, 10, 12.5 et 15  $\mu\text{m}$  à l'apparition de l'émission arrière. Les résultats ont été comparés à des simulations numériques faites à l'aide du code hydrodynamique FILM pour les conditions laser de l'expérience soit  $4\omega$ ,  $5 \cdot 10^{14}$ . Le code montre que la température au débouché du choc croît lorsque l'épaisseur de la cible augmente. Ceci est dû au fait que l'impulsion du laser a une forme gaussienne et que, pour les cibles les plus minces, le débouché de choc a lieu pendant la montée de l'impulsion à plus faible intensité laser que pour des cibles plus épaisses. Experimentalement, la température est toujours de l'ordre de 17 eV, pratiquement constante quelque soit l'épaisseur de la cible entre 5 et 15  $\mu\text{m}$ . Les valeurs des températures arrières mesurées et données par le code se raccordent pour des cibles d'épaisseur supérieures à 15  $\mu\text{m}$ .

## ACTIVITES DU GROUPE INSTRUMENTATION X ET X-UV

R. Benattar, R. Koenig, V. Malka et A. Sezen

L'activité est représentée par les études suivantes:

### 1.- Etude du préchauffage de cibles minces illuminées par laser à $4\omega$ .

Cette activité a consisté à enregistrer des images monochromatiques d'émission de face arrière et de face avant de feuilles minces illuminées par laser. Ces informations sont résolues temporellement. Deux longueurs d'onde 150 et 300 Å sélectionnées à l'aide de miroirs multicouches. L'étalonnage des détecteurs permet de déterminer une température de face arrière et son évolution au cours du temps. Les expériences ont été effectuées l'an dernier. Actuellement le dépouillement systématique des expériences faites sur des feuilles d'aluminium a

La simulation numérique donne des temps de débouchés de luminosité de face arrière identique à l'expérience pour les cibles d'épaisseur différente. En conséquence on peut dire que les cibles de faibles épaisseurs (5 et 10  $\mu\text{m}$ ) subissent le préchauffage par les X. Les cibles plus épaisses sont totalement gouvernées par l'hydrodynamique.

### 2.- Instrumentation X et X-UV

Un spectrographe fonctionnant dans le domaine 40-400 Å a été mis au point. Ce spectrographe à champ plan est constitué d'un miroir torique et d'un réseau holographique plan à période lentement variable. Les détecteurs utilisables sont, outre le film photographique, une camera CCD comportant un amplificateur de brillance et détectant une image préalablement transformée en visible à l'aide de phosphore P22 et une caméra à balayage de fente pour enregistrer l'évolution du spectre en fonction du temps.

Ce spectrographe est utilisé pour faire la spectroscopie d'absorption de la zone de conduction d'un

plasma crée par laser à  $4\omega$  de façon à obtenir des informations sur l'homogénéité de cette zone et de son évolution temporelle au cours du dépôt du laser.

## EXPERIENCES D'IMPLOSION à $4\omega$

E. Fabre, M. Koenig, A. Michard,  
A. Poquérusse (LULI Ecole Polytechnique)  
P. Fews (Université de Bristol)  
N. de Beaucoudrey (Institut d'Optique Orsay)

Cette année les expériences d'implosion de microballons de verre à haut rapport d'aspect ont été poursuivies dans le but de déterminer le rendement hydrodynamique, les caractéristiques (densité et température) de la paroi et l'uniformité de l'implosion.

Outre les diagnostics devenus usuels (émission neutronique, spectrométrie des particules  $\alpha$  et des protons par l'analyse des traces dans des feuilles de CR 39 en collaboration avec l'Université de Bristol, imagerie en rayons X par caméra sténopé ou à balayage de fente) nous avons également mis en place, grâce à une reconfiguration des diagnostics dans l'enceinte, deux spectrographes à rayons X et une caméra à image tomographique.

Deux types de rendements ont pu être déterminés: un rendement cinétique qui définit la part de l'énergie laser convertie en énergie cinétique de la coquille; un rendement thermique qui mesure la quantité d'énergie fournie au fuel sous forme de chaleur.

Les rendements cinétiques mesurés montrent une diminution sensible avec l'épaisseur de la coquille; on passe ainsi de 10%-15% pour les parois les plus minces (0.8-1  $\mu\text{m}$ ) à 3%-5% pour les plus épaisses (1.6-1.9  $\mu\text{m}$ ). Ces résultats expérimentaux sont en

assez bon accord avec les prévisions numériques données par le code lagrangien monodimensionnel FILM pour les coquilles ayant une épaisseur inférieure à 1.2  $\mu\text{m}$  et sont nettement sous-estimés pour les épaisseurs plus importantes. Ce désaccord s'explique par le fait que la détermination de l'énergie cinétique est liée à une simultanéité des mesures du rayon de la cible en fin d'implosion  $R_f$  et du produit  $\rho\Delta r$  de la coquille. Pour les coquilles minces le préchauffage par choc ou radiatif est important ce qui diminue les effets d'inhomogénéité d'éclairage de la cible; l'implosion se poursuit jusqu'au voisinage de la stagnation et les mesures de  $R_f$  et de  $\rho\Delta r$  sont synchrones. Pour les parois épaisses l'émission neutronique, dont dépend la détermination du produit  $\rho\Delta r$ , est principalement due à la convergence du choc; l'existence d'un mélange verre-DT diminue fortement les réactions de fusion dans les phases plus tardives et les mesures de  $R_f$  et de  $\rho\Delta r$  ne sont donc pas simultanées.

Les rendements thermiques obtenus sont plus faibles puisque seule une partie de l'énergie cinétique acquise par la coquille est transférée au combustible; un accord qualitatif avec les simulations n'existe que si l'on tient compte du volume de mélange D-T réellement impliqué dans les réactions de fusion.

L'analyse des spectres d'émission X du silicium, intégrés dans le temps, montrent des densités électroniques peu élevées ( $\sim 5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ) qui sont plutôt caractéristiques des zones périphériques de la coquille. L'intégration spatiale et le fait que les implosions sont effectuées dans un régime ablatif chaud empêchent d'observer de hautes densités de la paroi. De plus les simulations numériques indiquent que les zones de fortes densités ( $> 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ ) sont trop froides pour que les ions hydrogénéoides du silicium soient présents en nombre suffisant. Pour obtenir des informations plus complètes sur le comportement des implosions à partir de données spectroscopiques nous étudierons la compression de cibles à parois plus épaisses con-

tenant du néon avec deux spectrographes X, l'un résolu dans l'espace et l'autre dans le temps.

Enfin l'acquisition d'images tomographiques, qui a donné des résultats préliminaires intéressants, sera poursuivie; ce diagnostic ainsi que la mise en place d'imagerie X bidimensionnelle à haute résolution temporelle (0.1 ns) permettront d'étudier les effets d'inhomogénéité dans les différentes phases de la compression. Ont aussi collaboré activement à ces travaux J.M. Boudenne, A.M. Tournade et H. Timsit.

## ACCELERATION LASER DE PARTICULES

F. Amiranoff, A. Dyson, J.R. Marques,  
C. Rousseaux (LULI),  
G. Matthieussent (LPGP. Orsay),  
P. Mora (CPH.X),

F. Jacquet, Ph. Miné et P. Benkheiri (PNHE.X)

Pour générer en milieu plasma des champs électrostatiques élevés – de l'ordre du GV/m – en utilisant des lasers de puissance, deux méthodes sont envisageables: l'effet de sillage et le battement d'ondes. Seule cette dernière technique est réalisable à court terme. Le but du programme engagé est de prouver expérimentalement la faisabilité de l'accélération d'un faisceau d'électrons dans une onde plasma générée par battement de deux ondes laser de fréquences proches. Au cours de l'année 1989, la préparation tant technique que théorique de cette expérience s'est poursuivie.

La première phase de l'étude expérimentale consiste à générer des plasmas de quelques mm de longueur et d'une densité de l'ordre de  $10^{17}$  électrons par  $\text{cm}^3$ . La précision sur la densité du plasma et sur son homogénéité, imposées par les paramètres du laser, doit être meilleure que 1%. Pour cela

nous avons étudié la génération de tels plasmas par multiphotonionisation laser d'un gaz à basse pression.

Le faisceau laser de puissance à  $1,06\mu\text{m}$  ou  $0,53\mu\text{m}$  est focalisé au moyen d'une lentille de longue focale ( $f = 1\text{m}$ ) au milieu d'une enceinte utilisant les techniques ultra-vides nécessaires pour assurer la pureté du gaz et la précision sur la détermination de la pression et de la température initiales, qui définissent la densité du plasma une fois le gaz totalement ionisé. La densité et la température du plasma créé près du foyer de la lentille de focalisation sont mesurées par diffusion Thomson du faisceau principal lui-même.

Les résultats font apparaître, dans le cas de l'hydrogène et du deutérium à des pressions de l'ordre de 1 à 10 mbar, une ionisation totale et très rapide du gaz. La détente naturelle du plasma et l'effet de force pondéromotrice due à la pression de radiation du faisceau laser entraînent ensuite une lente évolution de la densité électronique. On assiste simultanément à un élargissement et à une baisse moyenne de la densité de l'ordre de 5%/100ps.

Ces résultats mettent en évidence deux points :

1. On peut créer par multiphotonionisation d'un gaz à basse pression les plasmas nécessaires pour les expériences de battement d'ondes laser.
2. Pour éviter une trop grande variation de la densité, il est important de travailler avec des taches focales assez larges et homogènes et sur des temps courts.

L'étude théorique s'est articulée autour des points suivants :

1. Calcul de la génération d'une onde plasma électronique par battement d'ondes laser, en tenant compte des différents mécanismes de saturation.
2. Calcul de l'accélération effective d'un faisceau d'électrons dans cette onde plasma, détermination des seuils en énergie à partir desquels un électron

peut être efficacement accéléré en fonction des paramètres de l'onde plasma, et des conditions géométriques de l'expérience. Dans ce but a été en particulier écrit un code numérique tri dimensionnel de trajectoires électroniques, prenant en compte les effets de divergence angulaire tant des faisceaux laser que du faisceau d'électrons, et la défocalisation respective des deux faisceaux.

L'étape expérimentale suivante, la mesure de champ électrique généré par battement d'ondes, devrait avoir lieu vers la fin 1990.

## **GROUPE CHOCS ET APPLICATIONS**

### **Interaction laser-matière en milieu confiné**

David Devaux, Rémy Fabbro

Ce programme prolonge l'étude des plasmas générés par chocs laser qui a été entreprise par M. Fournier et M. Ballard dans le cadre du durcissement de matériaux.

Lors d'un tir laser sur une cible métallique recouverte d'un diélectrique, un plasma se forme à la surface du métal et est confiné par le diélectrique (eau ou verre). Le but est de caractériser le plasma formé par sa température, sa pression et son expansion à partir uniquement des types de matériau utilisés et du pulse laser (énergie et durée).

De nombreuses mesures de pression du plasma dans différentes conditions de confinement (eau et verre), de flux (0,01 à 100 GW/cm<sup>2</sup>) et de durée du laser (600 ps, 3 ns et 30 ns) ont été effectuées grâce à des capteurs quartz piezo-électrique, permettant aussi la résolution temporelle du pic de pression. L'absorption de l'énergie laser par une cible en cuivre confinée par eau a été déterminée en fonc-

tion du flux laser incident. Enfin, nous avons réalisé la visualisation transverse de l'expansion du plasma grâce à une caméra à balayage de fente et observé de façon inédite la propagation de l'onde de choc dans le diélectrique.

Un modèle d'absorption de l'énergie laser par le plasma a été développé et utilisé dans le code hydrodynamique monodimensionnel FILM conçu par Jean Virmont (laboratoire P.M.I.) et utilisant les tables d'équation d'état de Sesame. Nous avons ainsi pu rendre compte des mesures de pression, de vitesse d'expansion du plasma et de vitesse d'onde de choc dans le diélectrique.

### **Durcissement des matériaux par chocs laser**

Patrick Ballard, Jean Fournier, Rémy Fabbro

Les résultats de mesure de pression de plasma confiné de M. Devaux et de mesure de contraintes résiduelles par diffraction X sur des aciers de caractéristiques mécaniques diverses ont été systématiquement corrélés grâce à un modèle mécanique analytique qui parvient à intégrer la réponse de la cible à la sollicitation.

D'autre part, les résultats d'essai de fatigue ont été confirmés et comparés aux améliorations obtenues par un traitement classique (le grenailage). L'amélioration apportée par ce nouveau procédé est de 10 % supérieure à celle obtenue par le procédé classique.

### **Génération de haute pression**

Bernard Faral, Rémy Fabbro

La technique de collision d'une feuille de polyester, accélérée par ablation laser, sur une feuille de molybdène a été employée pour générer en géométrie plane des pressions de 450-600 Mbar. Les

expériences ont confirmé les conditions optimales d'obtention de ces pressions : le rapport distance initiale de cible / diamètre de tache focale doit être de l'ordre de 0,3. L'émission X, réduite par l'emploi de feuille de polyester, préchauffe la double-feuille, ce qui diminue la densité de la feuille accélérée et détend la feuille de molybdène avant la collision. Cet effet néfaste modifie la dynamique du choc induit : son amplitude maximum chute d'environ 50% et elle est située plus à l'intérieur de la cible impactée.

Ces conditions optimales de générations de hautes pressions ont également été confirmées par l'analyse (spectrale et temporelle) de l'émissivité dans le domaine X de la face arrière de ces double feuilles. La signature de ces hautes pressions consiste en l'apparition d'un flash X de très brève durée (environ 150 ps).

Les déformations bidimensionnelles de la feuille accélérée dues à la taille finie de la tache focale ont un effet important sur le choc induit, diminuant son temps de maintien, mais pas son amplitude. Le code lagrangien 2D développé pour ces expériences est en accord avec les résultats expérimentaux à l'inverse d'un code monodimensionnel.

Finalement, grâce à l'utilisation de cibles bicouches (Al-Au) qui permettent, à partir d'une pression d'ablation dans l'aluminium d'environ 45 Mbar, de générer par désadaptation d'impédance des chocs de l'ordre de 100 Mbar dans l'or, nous avons pu visualiser le débouché en face arrière de ces chocs dans le domaine X-UV. En effet, ces chocs sont suffisamment intenses ( $T_e = 25$  eV) pour assurer une émissivité élevée dans ce domaine et pouvoir être ainsi résolus spectralement et temporellement. Les dernières expériences ont effectivement montré le débouché franc, dans le domaine X-UV et le domaine visible, d'un choc de 80 à 110 Mbars dans l'or, l'intensité du choc dépendant de l'épaisseur d'Al des cibles, en accord complet avec deux codes (FILM et XRAD).

Une estimation préliminaire de la température de ces chocs, basée sur le maximum d'émissivité X-UV, a été faite et conduit à des températures de 27-33 eV. Ces températures sont assez supérieures à celles données par les deux codes, utilisant des équations d'état différentes. Ces expériences originales présentent le grand intérêt très attendu, d'obtenir directement un paramètre thermodynamique essentiel de ces chocs (qui est leur température) alors que jusqu'ici on n'avait accès qu'aux seuls paramètres dynamiques (vitesse du fluide et du choc)

## ACTIVITE DES GROUPES TECHNIQUES DU LULI

Le laboratoire dispose de trois groupe techniques qui assurent la mise en oeuvre et le développement des installations laser ou expérimentales.

### LE GROUPE LASER

(J.P. Zou, A.M. Toumade, S. Savalle)

### Maintenance

#### Lasers

Le bon fonctionnement de la chaîne laser du LULI a été assuré au cours de l'année 89 et ceci malgré le départ définitif de deux personnes. Quarante cinq semaines de temps laser ont pu être consacrées aux équipes de recherche. Quatre mille cinq cents tirs, dont plus de deux mille à pleine puissance, ont été fournis aux expérimentateurs. Les différents types d'impulsions, caractérisées par leur durée allant de 200 ps à 30 ns, et les longueurs d'onde de 1,06  $\mu\text{m}$ , 0,53  $\mu\text{m}$  ou 0,26  $\mu\text{m}$  ont été utilisées.

Sept semaines ont été réservées à la maintenance du laser, à la fois sur le plan optique et sur le plan électronique. Les seules modifications apportées à



la chaîne concernant le réglage de la divergence du faisceau. Celle-ci a été réglée de façon à assurer une bonne amplification de l'impulsion dans les différents éléments et de limiter au maximum les problèmes de diffraction sur les bords des barreaux amplificateurs. Ces derniers peuvent en effet entraîner au niveau des enceintes expérimentales des surintensités qui détériorent les éléments optiques.

En plus des travaux effectués sur le laser de puissance proprement dit, le groupe optique s'est occupé de trois «petits» lasers de moindre puissance (1 GW) destinés à des expériences préliminaires et à des alignements de diagnostics.

#### **Enceintes de focalisation**

Une deuxième contribution du groupe a consisté en la mise en place de l'optique nécessaire à deux enceintes expérimentales supplémentaires. L'une (PEPITA) est principalement destinée à des expériences d'interaction à  $4\omega$ , tandis que l'autre est utilisée par le groupe travaillant sur l'accélération de particules.

#### **Développement**

Dans le cadre d'un projet général de génération et d'amplification d'impulsions ultracourtes (de l'ordre de 1 ps) des expériences préliminaires ont été réalisées pour étudier le problème de l'élargissement spectral et temporel d'une impulsion initiale d'environ 50 ps dans une fibre de verre monomode. Cette impulsion, une fois élargie doit pouvoir ensuite être amplifiée dans la chaîne actuelle puis recomprimée à 1 ps en sortie à l'aide de réseaux de diffraction.

Dans le but de réaliser des expériences de battement d'ondes, la chaîne va prochainement être reconfigurée de façon à pouvoir amplifier simultanément à des niveaux comparables deux longueurs

d'ondes différentes à 1,064  $\mu\text{m}$  et 1,053  $\mu\text{m}$ . Une étude détaillée de l'amplification de la chaîne faite en collaboration avec J.R Marquès et F.Amiranoff tenant compte des différences de gains en fonction de la longueur d'onde utilisée ayant été réalisée, l'implantation pourra avoir lieu vers le milieu de 1990.

#### **LE GROUPE ELECTRONIQUE**

(D. Chisin, J. Maignan, J.L. Paillard)

L'activité de ce groupe consiste à maintenir le grand instrument en état de fonctionnement quant à son électronique.

Un effort de maintenance et d'amélioration de l'électronique des lasers continue d'être menée.

Une part non négligeable du travail des électroniciens a été la gestion de la sécurité des salles d'expériences (adjonction de la salle n° 6 au système de sécurité).

Enfin, ce groupe a conçu en 1989 de nouveaux diagnostics sur la chaîne laser :

- un système d'acquisition à 20 entrées pour expériences salle 5 en cours d'achèvement (prévue pour le 1er trimestre 90) ;
- un nouveau mesureur d'énergie sur la chaîne (8 voies) par un système avec photodiodes polarisées et pilotage par micro-ordinateur (en cours d'achèvement également).

Il a contribué à la mise en place des systèmes de diagnostics, tels que la microinformatique interfacée avec les expériences et la mise en place de systèmes à caméra CCD pour les acquisitions d'images.

## LE GROUPE EXPERIMENTAL

(JM Boudenne, P. Godeau, R. König,  
P. Legriel, A. Michard)

Il a la charge de la mise en œuvre des chambres d'expériences. Ces réalisations sont nécessitées par le développement des différents programmes. Deux exemples peuvent illustrer ces nombreuses réalisations.

### Détecteurs à transfert de charges pour rayonnement X (JM Boudenne)

La mise en place de caméras X à sténopé, couplées à des détecteurs à CCD sans fenêtre, est en cours sur chaque enceinte. Plusieurs modèles mécaniques ont été réalisés : ils doivent assurer le maintien et la mise en position de la caméra dans l'enceinte sous vide, les réglages se faisant de l'extérieur.

### Spectrographe dans le domaine 40 Å - 200 Å (H. Timsit)

En 1989 la société Jobin Yvon a calculé et livré les pièces optiques (un miroir torique et un réseau à champ plan) constituant un spectrographe-monographe X-UV dans le domaine de 40 Å à 200 Å. La monture mécanique a été conçue au laboratoire à l'aide du logiciel CAO «Cadkey», cette mécanique permet un réglage X, Y, Z,  $\theta_X$ ,  $\theta_Z$  de chaque pièce optique et comporte un porte-fentes miniaturisé dont chaque lame est réglable indépendamment. Cet ensemble est fixé sur une poutre ajourée en aluminium lui assurant légèreté et rigidité. Le tout est monté sur flasque DN 200 ou 300 (standard de nos enceintes expérimentales) et doit fonctionner sous vide.

## PUBLICATIONS

### ■ PUBLICATIONS 89 - LABO INTERNE

- F. AMIRANOFF, A. DYSON, G. MATTHIEUSSENT, J.R. MARQUÈS, C. STENZ, P. BENKHEIRI, PH. MINÉ, F. JACQUET and P. MORA;  
*Plasma generation for beat-wave experiments.*  
Bull. A.P.S. 34, 2143 (1989)
- F. AMIRANOFF, F. JACQUET G. MATTHIEUSSENT, P. MORA  
*Accélération relativiste de particules en milieu plasma*  
Bull. Soc. franc. de Phys. 71, p. 7 (janvier 1989)
- F. AMIRANOFF, P. MORA  
*Accélération de particules dans les plasmas*  
Image de la Physique p. 24 (1989)
- F. AMIRANOFF, R. BENATTAR, R. FABBRO, E. FABRE, B. FARAL, C. LABAUNE, M. KOENIG, A. MICHARD, F. COTTET, J.P. ROMAIN, L. MARTY, J. VIRMONT, G. MATTHIEUSSENT, P. FEWS  
*Experimental studies related to inertial confinement fusion for 0,26  $\mu\text{m}$  laser light*  
Plasm. Phys. and Cont. Nucl. Fus. Vol. 3 (1989)
- H.A. BALDIS, H.C. BARR, D.M. VILLENEUVE, G.D. ENRIGHT, B. LAFONTAINE, J.E. BERNARD, C.LABAUNE, S. BATON  
*Stimulated Brillouin scattering driven by a 10ps pump*  
Bull. APS (1989)
- S. BATON, C. LABAUNE, G. MATTHIEUSSENT, W. SEKA  
*Study of schlieren diagnostic to investigate filamentation with long density scale lengths*  
Opt. Comm. 70, 1, 50 (1989)
- S.D. BATON, C. LABAUNE, J.L. LACAZE  
*Influence of absorption and refraction on laser interaction studies in preformed plasmas*  
Opt. Comm., 74, 195 (1989)
- R. BENATTAR, J. GODARD  
*80 eV imaging of laser produced plasmas for different Z materials at 1.06, 0.53 and 0.26  $\mu\text{m}$*   
Berträge Aus der Plasmaphysik, à paraître
- R. BENATTAR & V. MALKA  
*Soft X-ray Imaging of laser produced plasmas.*  
SPIE Vol 1140 (X-rays Instrumentation), 73 (1989)
- R. BENATTAR, V. MALKA & A. SEZEN.  
*X-ray laser plasma source for calibration.*  
SPIE Vol 1140 (X-rays Instrumentation), 238(1989).
- R. BENATTAR, V. MALKA  
*Time resolved backside emission in the X-UV range of laser illumination thin foils*  
Laser Interaction with Matter, edited by G.Verlarde, E. Minguez and J.M. Perlado, World Scientific, p. 277, (1989)
- C. BOUSQUET, J. GRUMBERG, E. LÉBOUCHER, H. NGUYEN, A. POQUÉRUSSE  
*Radiative-transfer and transverse inhomogeneity effects in spectral lines emitted from laser plasmas.*  
J. Phys. B, à paraître
- C. BOUSQUET, J. GRUMBERG, E. LÉBOUCHER-DALIMIER, H. NGUYEN, A. POQUÉRUSSE  
*Effet de transfert radiatif et d'inhomogénéité transverses avec résolution spatiale et temporelle sur les raies d'aluminium émises par un plasma de laser*  
(Orléans Septembre 1989)  
Ann. de Phys., à paraître
- M. CHAKER, S. BOILY, B. LAFONTAINE, J.C. KIEFFER, H. PEPIN, I. TOUBHANS, R. FABBRO, J. CURRIE  
*X-ray wavelength optimization of the laser plasma X-ray lithography source.*

Microele. Eng., à paraître

R. FABBRO, B. FARAL, J. VIRMONT, H. PEPIN, F. COTTET and J.P. ROMAIN,  
*Modeling of high pressure generated using the laser colliding foil technique.*  
Phys. Fluids B, 1(3), 644 (1989).

R. FABBRO, B. FARAL, J. VIRMONT, F. COTTET, J.P. ROMAIN and H. PEPIN,  
*Importance of 2D effects for the generation of ultra-high pressure obtained in laser colliding foil experiments.*  
Phys. Fluids, à paraître.

R. FABBRO, B. FARAL, J.C. GAUTHIER, C. CHENAIS-POPOVICS, J.P. GEINDRE, H. PEPIN  
*Study of the emissivity of the rear face of a shocked foil with temporal and X-UV spectral resolution in single and colliding foil experiments*  
Laser and Particle Beams, à paraître.

R. FABBRO, B. FARAL, J.C. GAUTHIER, C. CHENAIS-POPOVICS, J.P. GEINDRE, H. PEPIN  
*Study of emissivity of the rear face of a shocked foil with temporal and X-UV spectral resolution in single foil and colliding foil experiments*  
Laser Interaction with Matter, edited by G. Verlarde, E. Minguez and J.M. Perlado (World Scientific, p. 300, 1989)

R. FABBRO, J. FOURNIER, P. BALLARD, D. DEVAUX, and J. VIRMONT.  
*Physical Study of Laser Produced Plasma in Confined Geometry*  
Journal of Applied Physics, soumis pour publication

E. FABRE, P. FEWS, M. KOENIG, A. MICHARD, J. VIRMONT  
*Implosion experiments at 0,26  $\mu\text{m}$  laser wavelength*  
Laser Interaction with Matter, edited by G. Verlarde, E. Minguez and J.M. Perlado, World Scientific, p. 433, (1989)

E. FABRE, M. KOENIG, A. MICHARD, P. FEWS  
*Implosion experiments at 0,26  $\mu\text{m}$  laser wavelength*  
16th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Heating, Venise, (mars 1989)  
European Physical Society, Vol 13B, part III, p.857-860 (1989)

B. FARAL, R. FABBRO, F. COTTET, and J.P. ROMAIN,  
*X-UV and visible emissivity of very high shocks (100 Mbars) in gold obtained by mismatch impedance in laser experiments*  
Bull. Am. Phys. Soc., 34 (7), 1706 (1989).

et  
A paraître dans les proceedings de l'A. P. S. Shock - Albuquerque (USA) 14-17 Août 1989

B. FARAL, R. FABBRO, J. VIRMONT, F. COTTET, J. P. ROMAIN, H. PEPIN  
*Importance of Two dimensional effects for the generation of ultra-high pressures obtained in laser colliding foil experiments*  
Phys. of Fluids, à paraître.

J. FOURNIER, R. FABBRO, P. BALLARD, J. VIRMONT  
*Physical study of confined laser-matter interaction*  
Laser Interaction with Matter, edited by G. Verlarde, E. Minguez and J.M. Perlado, World Scientific, p. 259, (1989)

C. LABAUNE, H.A. BALDIS, E. FABRE, F. BRIAND, D.M. VILLENEUVE, K. ESTABROOK  
*Backward and forward stimulated Raman scattering from thin foil targets with a 0.26  $\mu\text{m}$  laser*  
Phys. Fluids, à paraître

C. LABAUNE, F. AMIRANOFF, G. MATTHIEUSSENT, C. ROUSSEAU, S. BATON, J.L. LACAZE, W. SEKA, S. CRAXTON  
*Creation and characterisation of long scale length plasmas for interaction experiments*  
Laser Interaction with Matter, edited by G. Verlarde,

- E. Minguez and J.M. Perlado, World Scientific, p. 185 (1989)
- C. LABAUNE, F. AMIRANOFF, E. FABRE, G. MATTHIEUSSENT, C. ROUSSEAU, S. BATON  
*Experimental study of laser-plasma interaction physics with short laser wavelength*  
Proceeding de la 16th Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Venise (Mars 1989)  
European Physical Society, Vol 13B, part III, p.837-840 (1989)
- P. MORA, F. AMIRANOFF, P. BENKHEIRI, F. JACQUET, G. MATTHIEUSSENT, P. MINÉ et C. ROUSSEAU  
*Accélération laser de particules dans les plasmas*  
Annales de Physique, à paraître
- P. MORA, F. AMIRANOFF,  
*Electron acceleration in relativistic electron plasma wave*  
J. Appl. Phys. 66, 3476 (1989)
- R.M. MORE, K.H. WARREN  
*Semiclassical theory of ion stopping*  
Journal de Physique, 49, C7-43 (1989)
- R.M. MORE, Z. ZINAMON, K.H. WARREN, R. FALCONE, M. MURNANE  
*Heating of solids with ultra-short laser pulses*  
Journal de Physique, 49, C7-43 (1989)
- R.M. MORE, K.H. WARREN  
*Semiclassical calculation of oscillator-strengths*  
Journal de Physique, 50, 35 (1989)
- R.M. MORE  
*Atomic Physics of laser produced plasmas*  
Prepared for the Handbook of Plasma Physics, Ed. by S. Witkowski  
Sous presse
- C. ROUSSEAU, F. AMIRANOFF, C. LABAUNE, G. MATTHIEUSSENT, D. PESME  
*Studies of Brillouin and Raman instabilities in laser plasmas*  
Laser Interaction with Matter, edited by G. Verlarde, E. Minguez and J.M. Perlado, World Scientific, p.189, (1989)
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, H. PEPIN, M. CHAKER  
*Microlithography with a laser plasma X-ray source*  
Revue Phys. Appl. 24, 1001(1989)
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, J. C. GAUTHIER, M. CHAKER, H. PEPIN  
*X-ray conversion efficiency in laser-produced plasmas. Application to X-ray lithography*  
SPIE Proceedings Vol. 1140, p. 358 (1989)
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, J.C. GAUTHIER, A. CHAKER and H. PÉPIN  
*Photon transport and radiation losses in laser-created plasmas*  
Proceedings 16th European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Venise, (mars 1989).  
European Physical Society, Vol 13B, part III, p.861-864 (1989)

## ■ COMMUNICATIONS

- F. AMIRANOFF, A. DYSON, G. MATTHIEUSSENT, J.R. MARQUÈS, C. STENZ, P. BENKHEIRI, P. MINÉ, F. JACQUET, et P. MORA  
*Plasma generation for beat-wave experiments*  
31st Annual Meeting of the Division of Plasma Physics of the American Physical Society  
Anaheim, Californie, (13-17 novembre 1989)

- F. AMIRANOFF, C. LABAUNE, C. ROUSSEAU and G. MATTHIEUSSENT;  
*Backward and forward raman scattering in long preformed plasmas.*  
19th Anomalous Absorption Conference, Durango, Colorado (juin 1989)
- P. AUDEBERT, M. CHAKER, J.C. KIEFFER, H. PEPIN, P. MAINE, D. STRICKLAND, P. BADO, G. MOUROU  
*Interaction of psec pulses with solid target at high intensities.*  
Proceedings Quantum Electronic Conference (janvier 89):
- R. BENATTAR & V. MALKA  
*Soft X-ray Imaging of laser produced plasmas.*  
ECO 2 session «X-rays Instrumentation», Paris (avril 1989)
- R. BENATTAR, V. MALKA & A. SEZEN.  
*X-ray laser plasma source for calibration.*  
ECO 2 session «X-rays Instrumentation», Paris (avril 1989)
- R. BENATTAR & V. MALKA .  
*Study of preheat by time resolved X-UV imaging of laser illuminated thin foils.*  
19th Anomalous Absorption Conference. (19-23 juin 1989), Fort Lewis College, Durango, Colorado (USA).
- C. BOUSQUET, J. GRUMBERG, E. LÉBOUCHER-DALIMIER, H. NGUYEN, A. POQUÉRUSSE  
*Effet de transfert radiatif et d'inhomogénéité transverses avec résolution spatiale et temporelle sur les raies d'aluminium émises par un plasma de laser.*  
Colloque Collisions et rayonnement, Orléans, (septembre 1989)
- E. FABRE, M. KOENIG, A. MICHARD, P. FEWS  
*Implosion experiments at 0,26 mm laser wavelength*
- 16th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Heating, Venise, (mars 1989)
- E. FABRE, M. KOENIG, A. MICHARD, P. FEWS  
*Implosion experiments at 0,26 mm laser wavelength*  
19th Anomalous Absorption Conference. (19-23 juin 1989), Fort Lewis College, Durango, Colorado (USA).
- B. FARAL, R. FABBRO, F. COTTET and J. P. ROMAIN  
*X-UV and visible emissivity of very high shocks (100 Mbars) in gold obtained by mismatch impedance in laser experiments*  
A. P. S. Shock Albuquerque, USA (14-17 août 1989)
- J.C. GAUTHIER, R. FABBRO, I. TOUBHANS, H. PÉPIN and A. CHAKER  
*Photon transport and radiation losses in laser-created plasmas*  
16th European Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Venise, (mars 1989).
- C. LABAUNE, F. AMIRANOFF, E. FABRE, G. MATTHIEUSSENT, C. ROUSSEAU, S. BATON  
*Experimental study of laser-plasma interaction physics with short laser wavelength*  
16th Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Venise, (Mars 1989)
- C. LABAUNE  
*Interaction physics at LULI*  
Séminaire invité au National Research Council of Canada, Ottawa, (20 Juillet 1989)
- C. LABAUNE, F. AMIRANOFF, S. BATON, D. GIULIETTI, G. MATTHIEUSSENT, C. ROUSSEAU  
*Studio sperimentale dell'interazione laser-plasma ad alta intensita' in plasmi quasi omogenei*  
LXXV Congresso Nazionale della Societa' Italiana di Fisica, Cagliari, (28 Settembre-3 Octobre 1989)

- P. MORA, et al.  
*Accélération laser de particules dans les plasmas*  
Papier invité, Colloque Collisions et Rayonnement,  
Orléans, (6-8 septembre 1989)
- P. MORA, F. AMIRANOFF, G. MATTHIEUSSENT  
*Particle acceleration*  
Papier invité, European Laser Facility Workshop,  
Francfort, RFA, (18-19 décembre 1989)
- D. PESME, C. LABAUNE, G. MATTHIEUSSENT,  
G. LAVAL, J.F. LUCIANI, P. MORA  
*Interaction physics issues*  
Papier invité, European Laser Facility Workshop,  
Francfort, RFA (18-19 décembre 1989)
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, J.C. GAUTHIER, H.  
PÉPIN and A. CHAKER  
*X-ray applications of laser plasma sources*  
International Congress on Optical Science and  
Engineering, Paris, (Avril 1989).
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, J. C. GAUTHIER, M.  
CHAKER, H. PEPIN  
*X-ray conversion efficiency in laser-produced plas-  
mas. Application to X-ray lithography*  
SPIE Meeting, Paris " X-ray instrumentation in  
Medicine and Biology, Astrophysics and Synchro-  
tron Radiation " ECO2, (24-28 Avril 1989)
- I. TOUBHANS, R. FABBRO, J. C. GAUTHIER, M.  
CHAKER, H. PEPIN  
*X-ray conversion efficiency in laser-produced plas-  
mas. Effect of pulse shape and duration*  
19<sup>th</sup> Anomalous Absorption Conference Durango,  
USA (19-23 Juin 1989)
- J. VIRMONT, D. DEVAUX, R. FABBRO and J.  
FOURNIER  
*Modeling and physical study of confined laser-  
matter interaction*  
19<sup>th</sup> Anomalous Absorption Conference  
Durango, USA (19-23 Juin 1989)
- J. VIRMONT, D. DEVAUX, R. FABBRO and J.  
FOURNIER  
*Modeling and physical study of confined laser-  
matter interaction*  
EUROMECH, Marseille (6-8 Septembre 1989)
- J. VIRMONT, D. DEVAUX, R. FABBRO and J.  
FOURNIER  
*Modeling and physical study of confined laser-  
matter interaction*  
Workshop on Mathematical Simulation of Laser  
Treatment of Materials 28-29 Septembre 1989 Lis-  
bonne (Portugal)

## ■ THÈSES

- Jean FOURNIER  
*Génération d'ondes de choc par laser pulsé de forte  
énergie. Applications mécaniques et métallurgi-  
ques.*  
Thèse de Doctorat de l'Ecole Polytechnique, Palai-  
seau, 12 juin 1989
- Isabelle TOUBHANS  
*Etude théorique et expérimentale de l'émission de  
rayonnement X par les plasmas créés par laser.  
Application à la lithographie X: développement d'un  
code de simulation et comparaison avec l'expé-  
rience.*  
Thèse de Doctorat de l'Ecole Polytechnique, Palai-  
seau, 23 mars 1989

■ **PUBLICATIONS 89 -  
EQUIPES EXTÉRIEURES**

- T. AUGUSTE, C. CHENAIS-POPOVICS, B. ETLICHER, J.C. GAUTHIER, J.P. GEINDRE and C. ROUILLÉ  
*Dynamics of an argon gas-embedded Z-pinch micro-channel as a function of the initial preionization*  
Laser and Particle Beams **7**, 781 (1989).
- C.A. BACK, R.W. LEE and C. CHENAIS-POPOVICS  
*Measurement of resonance fluorescence in a laser-produced Al XII plasma*  
Physical Review Letters **63**, 1471 (1989).
- J. BALLEST, J.F. LUCIANI, P. MORA  
*Suprathermal ionization in evaporating clouds. Nonlocal electron distribution function.*  
Astron. Astrophys. **218**, 292 (1989)
- C. BAUCHE-ARNOULT, J. BAUCHE, E. LUCKOENIG, J.F. WYART, R.M. MORE, C. CHENAIS-POPOVICS, J.C. GAUTHIER, J.P. GEINDRE and N. TRAGIN  
*Dielectronic recombination processes in laser-produced tantalum plasmas*  
Physical Review A, **39**, 1053 (1989).
- L. BERGE  
*Collapsing solution of the Zakharov equations with anisotropic contraction rates.*  
Physica D, à paraître
- L. BERGE  
*Gauge invariance and wave collapse.*  
Jour. Math. Phys., soumis pour publication
- L. BERGE, D. PESME, G. PELLETIER  
*Anisotropic collapsing solutions of the Zakharov equations and gauge invariance and wave collapse.*  
Laser Interaction with Matter, G. Velarde, E. Minguez, J.M. Perlado Editors, World Scientific, p 409 (1989)
- L. BERGE, P. DOUSSEAU, G. PELLETIER et D. PESME  
*Scalar wave collapse at critical dimension*  
Phys. Rev. A, soumis pour publication
- L. BERGE, G. PELLETIER et D. PESME  
*Langmuir wave collapse with anisotropic contraction rates*  
Phys. Rev. A, soumis pour publication
- L. BERGE, D. PESME, G. PELLETIER  
*Scalar wave collapse at critical dimension*  
Phys. Rev. A, soumis pour publication
- G. BONNAUD, D. PESME et R. PELLAT  
*Nonlinear Raman scattering behaviour with Langmuir and sound waves coupling in homogeneous plasma*  
Phys. of Fluids soumis pour publication
- G. BONNAUD, D. PESME et R. PELLAT  
*Backscattered spectra for stimulated Raman scattering in an inhomogeneous plasma*  
Phys. of Fluids, soumis pour publication
- J. BOTINEAU, C. LEYCURAS, C. MONTES, E. PICHOLLE  
*Stabilization of simulated Brillouin fiber ring laser by strong pump modulation,*  
J. Opt. Soc. Am. B, **6**, 300-312 (1989)
- J. BOTINEAU, C. LEYCURAS, C. MONTES, E. PICHOLLE  
*Diffusion Brillouin stimulée dans un laser en anneau à fibre optique,*  
Ann. Télécommun., **44**, 173-178 (1989)
- J. BRIAND, L. BERGE, A. GOMES, Y. QUEMENER, J.P. DINGUIRARD, C. ARNAS,



- M. ARMENGAUD, D. PESME  
*Evidence of collapsing strong Langmuir turbulence from second harmonic spectra in one micron laser produced plasma.*  
Phys. Fluids B, à paraître
- J. BRIAND, L. BERGE, A. GOMES, Y. QUEMENER, C. ARNAS, M. ARMENGAUD, J.P. DINGUIRARD et D. PESME  
*Strong Langmuir turbulence and second harmonic spectra in 1 mm laser produced plasma*  
Phys. of Fluids, à paraître
- J. BRIAND, C. ARNAS, J.C. KIEFFER, A. GOMES, L. BERGE, Y. QUEMENER, J.P. DINGUIRARD, M. ARMENGAUD  
*The parametric filamentation instabilities in laser matter interaction.*  
Phys. Fluids B, soumis pour publication
- A. CARILLON, J. EDWARDS, P. JAEGLÉ, G. JAMELOT, M.H. KEY, G.P. KIEHN, A. KLISNICK, C.L.S. LEWIS, D. O'NEILL, G.J. PERT, S.A. RAMSDEN, C. REGAN, S.J. ROSE, T. TOMIE  
*Soft X-ray amplification in aluminium recombining plasma produced from a thin coated fibre*  
J. Phys. B: Atom Molec Physics, 22 (1990): sous presse
- A. CARILLON, P. DHEZ, B. GAUTHÉ, P. JAEGLÉ, G. JAMELOT, A. KLISNICK, and J.C. LAGRON  
*Experimental device for X-UV experiments, especially adapted to the directional emission from a plasma column.*  
International Congress on Optical Science and Engineering, 24-28 April 1989, Palais des Congrès, Paris, France, «X-Ray Instrumentation in Medicine and Biology, Plasma Physics, Astrophysics, and Synchrotron Radiation», R. Benattar editor, Proc. SPIE 1140, 271-8(1989)
- M. CHAKER, V. BAREAU, J.C. KIEFFER, H. PEPIN  
*Absolute soft X-ray spectroscopy of laser produced plasmas using a transmission grating.*  
Rev. Sci. Instr., soumis pour publication
- M. CHAKER, P. AUDEBERT, J.C. KIEFFER, J.P. MATTE, H. PEPIN, P. MAINE, D. STRICKLAND, P. BADO, G. MOUROU  
*X-ray emission in a 1ps laser produced plasma.*  
Phys. Rev. A, soumis pour publication
- C. CHENAIS-POPOVICS, C. FIEVET, J.P. GEINDRE and J.C. GAUTHIER  
*K $\alpha$  absorption spectroscopy : diagnostic of the radiative preheating of a laser-irradiated layered target*  
Physical Review A, 40, 3194 (1989).
- B. CROS, G. MATTHIEUSSENT, J. GODIOT and A. HERON  
*Stochastic behaviour of resonant absorption in a plasma at microwave frequencies*  
Europhys. Lett., 9, 41 (1989).
- B. CROS, J. GODIOT, G. MATTHIEUSSENT and A. HERON  
*Nonlinear effects and chaotic behaviour at plasma resonance*  
Phys. of Fluids, soumis pour publication.
- F. COTTET, M. BOUSTIE  
*Investigation on spallation process in aluminum targets using shock waves induced by short laser pulses.*  
J. Appl. Phys., 66 (9) 4067 (1989).
- F. COTTET, M. BOUSTIE,  
*Spall measurements in metallic targets using shock waves induced by short duration laser pulses.*  
Bull. Am. Phys. Soc., 34 (7), 1714 (1989).  
et  
Proceeding of the 6<sup>th</sup> topical conference (Albuquerque, 08/1989) Shock Compression in Condensed Matter.

- F. COTTET, M. BOUSTIE,  
*Etude de l'écaillage produit par une onde de choc induite par irradiation laser de cibles métalliques.*  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Behaviour of Dense Media under High Dynamic Pressures (La Grande Motte 1989) ed. by CEA, Paris, Ed. SERIEP 255 (1989).
- F. COTTET, A. NG, L. DA SILVA, L. MARTY,  
*Dynamic fracture by laser induced shock wave in aluminum targets.*  
Laser Interaction with Matter, Ed. by G. Velarde, E. Minguez, J.M. Perlado (Singapore, World Scientific) 364 (1989).
- B. DAFIRI ET M. LAMOUREUX  
*Taux collisionnels et populations ioniques (en modèle C. R.) dans un plasma laser non-Maxwellien*  
Sixième colloque « Collisions et Rayonnement », Orléans, 6-8 septembre 1989.  
à paraître aux Annales de Physique
- P. DARQUEY, J.P. ROMAIN, F. COTTET,  
*Ondes de choc engendrées par impulsion laser en interaction confinée.*  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Behaviour of Dense Media under High Dynamic Pressures (La Grande Motte 1989) ed. by CEA, Paris, Ed. SERIEP, 87 (1989).
- L. DA SILVA, A. NG, B.K. GODWAL, G. CHIU, F. COTTET, M.C. RICHARDSON, P. JAANIMAGI and Y.T. LEE,  
*Shock-induced shifts in the aluminum K photoabsorption edge.*  
Phys. Rev. Lett., 62 (14), 1623 (1989).
- B. D'ETAT, Ph. MALNOULT, H. NGUYEN  
*A self-consistent field model for transient molecules in high density plasmas.*  
Phys. Rev. A (n°AG 4127), à paraître
- H. GUENNOU, A. KLISNICK, C. MÖLLER and A. SUREAU  
*Lithium-like ions ( $Al^{10+}$  to  $Ti^{19+}$ ) calculated data for X-UV lasers*  
Journal de Physique, 50 C1-609 (1989)
- M. HALLOUIN, M. GERLAND,  
*Comportement des aciers inoxydables austénitiques sous choc intense*  
Journées d'automne de la S.F.M., Paris, 17-19 Octobre 1989  
Mem. Et. Sci. Rev. Met. 9, 506 (1989).
- P. JAEGLÉ  
*X-ray lasers*  
NATO Advanced Institute on the Physics of Highly-charged Ions, Cargèse, 6-17 Juin 1988, Physics of highly-ionized atoms, Richard Marrus ed., NATO ASI Series, Series B: Physics, 201 (1989) 209-43
- G. JAMELOT, A. CARILLON, A. KLISNICK, P. JAEGLÉ  
*Recombination scheme in lithiumlike ions for X-UV amplification*  
Applied Physics B, à paraître
- KIEFFER, P. AUDEBERT, M. CHAKER, J.P. MATTE, H. PEPIN, P. MAINE, D. MEHERHOFER, J. DELETTREZ, D. STRICKLAND, P. BADO, G. MOUROU  
*Absorption measurements in a one pico-second laser produced plasma,*  
Phys. Rev. Lett., 52, 760, (1989)
- J.C. KIEFFER, M. CHAKER, H. PEPIN, D.M. VIL-LENEUVE, J.E. BERNARD, H.A. BALDIS  
*Monochromatic X-ray imaging of a laser produced plasma.*  
Appl. Opt., soumis pour publication
- A. KLISNICK, A. SUREAU, H. GUENNOU, C. MÖLLER and J. VIRMONT  
*Effective rates for Li-like ions; calculated X-UV gains in  $Al^{10+}$*

- Applied Physics B, à paraître
- World Scientific, 209-221 (1989)
- A. KLISNICK, A. SUREAU, H. GUENNOU, C. MÖLLER and J. VIRMONT  
*Modelling of recombination X-ray lasers*  
 Ann., Phys., à paraître
- C. MONTES, O. LEGRAND  
*Apparent superluminescent quasi-solitons in stimulated Brillouin backscattering,*  
 J. Phys. Coll. C **3**, supp. au n° 3, 147-155 (1989)
- M. LAMOUREUX, L. JACQUET and R. H. PRATT  
*Angular distribution and polarization of the continuum emission in anisotropic plasmas,*  
 Phys. Rev. A, **39**, 6323-34 (1989)
- C. MONTES, O. LEGRAND, A.M. RUBENCHIK, I.V. RELKE,  
*Stimulated Brillouin limitation for transmission capacity in optical fibers,*  
 World Scientific, à paraître
- M. LAMOUREUX, YIM LEE, J. DUBAU and M. CORNILLE,  
*The effect of non-Maxwellian electron distributions on the intensity ratio of resonance to satellite line*  
 UCRL-100301 (mars 1989)
- C. MONTES, A.M. RUBENCHIK  
*Stimulated Brillouin limitation for transmission capacity in soliton-based optical-fiber communication,*  
 J. Opt. Soc. Am. B, soumis pour publication
- M. LAMOUREUX  
*Emission of continuum radiation in plasmas,*  
 Préparé pour IRPS-NEWS (Newsletter of the International Radiation Physics Society)
- D.M. Mostacci, L.M. Montieth, J.P. Dinguirard, R.L. Morse  
*X-ray light emission from laser produced spherical plasma flows.*  
 Phys. Fluids B, **10**, 2106, (1989)
- J.F. LUCIANI, P. MORA  
*Fusion thermonucléaire*  
 Encyclopédie Quillet (Hachette), à paraître
- A. NG, L. DA SILVA, B.K. GODWAL, G. CHIU, F. COTTET, M.C. RICHARDSON, P. JAANIMAGI and Y.T. LEE,  
*K-Shell Photoabsorption edge spectroscopy in a dense plasma.*  
 Bull. Am. Phys. Soc. **34** (7), 1732 (1989).  
 et  
 Proceeding of the 6<sup>th</sup> topical conference (Albuquerque, 08/1989) Shock Compression in Condensed Matter.
- Ph. MALNOULT, B. D'ETAT, H. NGUYEN  
*Electronic bound states of a two-ion center immersed in high density plasmas.*  
 Phys. Rev. A, **40** 1983 (1989)
- Ph. MALNOULT, H. NGUYEN  
*Molécules transitoires dans les plasmas ultradenses : théorie et expériences.*  
 Conférence invitée (Orléans Septembre 1989)  
 Ann. de Phys., à paraître
- C. MONTES, O. LEGRAND  
*Nonstationary stimulated Brillouin backscattering,*  
 dans «Electromagnetic and Acoustic Scattering : Detection and Inverse Problem»  
 ed. par C. Bourrely, P. Chiappetta et B. Torresani,
- B. ROZSNYAI and M. LAMOUREUX,  
*Continuum wave functions and Bremsstrahlung in Plasmas Based on the Ion-Sphere and Jellium Models,*  
 J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, sous presse
- N. TRAGINI, J.P. GEINDRE, C. CHENAIS-POPOVICI, J.C. GAUTHIER, J.F. WYART and E. LUC-

KOENIG

*Ionization limits in Cu-like and Ni-like high-Z ions from ab-initio calculations and wavelength measurements in Rydberg series*

Physical Review A, **39**, 2085 (1989).

*aluminium layer*

International congress on optical science and engineering, Paris, (avril 1989).

B. CROS, G. MATTHIEUSSENT, J. GODIOT and A. HERON

*Resonant absorption at microwave frequencies*  
Workshop on RF Plasma Modification, Puerto Rico (janvier 1989).

B. CROS, G. MATTHIEUSSENT, J. GODIOT and A. HERON

*Stochastic behaviour of resonant absorption in the microwave range*  
19th Anomalous Absorption Conference, Durango, Colorado (juin 1989).

## ■ COMMUNICATIONS

L. BERGE

Conférence invitée

*Scalar wave collapse at critical dimensions*

Ecole Polytechnique (février 1989):

G. BONNAUD, D. PESME et R. PELLAT

*1-D nonlinear SRS/SBS behaviour with Langmuir and sound wave coupling (in homogenous plasma).*

19th Anomalous Absorption Conference, Durango, Colorado, (19-23 juin 89)

J.C. GAUTHIER, J.P. GEINDRE, C. CHENAIS-POPOVICS and N. TRAGIN

*Experimental study of unresolved transition arrays in laser-produced plasmas. Application to plasma diagnosis*

International congress on optical science and engineering, Paris, (avril 1989).

J. BOTINEAU, O. LEGRAND, C. LEYCURAS, C. MONTES, E. PICHOLLE

*Impulsions supraluminiques dans une fibre optique,*

10èmes Journées nationales d'Optique guidée

Jouy-en-Josas (France), (28-30 août 1989)

J.C. GAUTHIER

*Plasma diagnostics using unresolved transition arrays of high-Z materials*

Séminaire invité, Lawrence Livermore Laboratory, (août 1989).

J. BRIAND

Conférence invitée

*L'interaction laser-matière.*

Conférence SFP, Orsay (avril 1989)

J.C. GAUTHIER

*K $\alpha$  absorption spectroscopy : a temperature diagnostic for dense matter*

Séminaire invité, GSI, Darmstadt, (novembre 1989).

M. CASANOVA, D. PESME, G. LAVAL et N. SILVESTRE

*SBS reflectivity in the convective regime*

International Plasma Physics Conference, New-Delhi, Inde, (21-28 novembre 1989)

P. JAEGLÉ, A. CARILLON, B. GAUTHÉ, G. JAMELOT, A. KLISNICK, and J.P. RAUCOURT

*Lithiumlike recombination scheme of X-UV amplification*

7th Topical Conference on Atomic Processes in Plasmas, Gaithersburg, Maryland, USA, (2-5 october 1989)

C. CHENAIS-POPOVICS, C. FIEVET, J.P. GEINDRE, J.C. GAUTHIER, J.F. WYART and E. LUC-KOENIG

*Absorption spectroscopy of a radiatively heated*

- P. JAEGLÉ  
*The lithiumlike recombination scheme for X-UV lasers*  
Conférence invitée : 2nd Canadian Workshop on X-Ray Lasers, Ottawa, Canada, (October 12-13, 1989)
- P. JAEGLÉ  
*The lithiumlike recombination scheme for X-UV lasers*  
Conférence invitée: International Conference on Lasers LASERS' 89, New Orleans, USA, (December 4-8, 1989)
- G. JAMELOT  
*Le laser à rayons X. A quoi pourrait-il servir? Comment le réaliser?*  
EURISKO 89, Grande Halle de la Villette, (19-23 janvier 1989)
- G. JAMELOT  
*Le laser à rayons X : progressions et perspectives.*  
Séminaire dans le cadre du cours de Physique Atomique et Moléculaire du Collège de France, (28 février 1989)
- G. JAMELOT, A. CARILLON, A. KLISNICK, and P. JAEGLÉ  
*Spectroscopy in X-ray laser research*  
Conférence invitée. International Congress on Optical Science and Engineering, Palais des Congrès, Paris, France, (24-28 April 1989)
- A. KLISNICK, H. GUENNOU, C. MÖLLER, A. SUREAU and J. VIRMONT  
*Modélisation du laser X par recombinaison dans les ions lithuomoides. Progrès récents*  
Sixième colloque « Collisions et Rayonnement », Orléans, (6-8 septembre 1989)
- M. LAMOUREUX  
*Rayonnement de freinage, diagnostics des électrons chauds*  
Seconde rencontre du Groupement de Recherches du CNRS ( GDR 0135 ) « Plasmas chauds de la fusion magnétique », Cadarache (1-2 juin 1989)
- M. LAMOUREUX, YIM LEE, J. DUBAU ET M. CORNILLE  
*Influence de caractère non-Maxwellien des plasmas de laser sur le rapport des intensités de raies de résonance aux raies de satellites.*  
Sixième colloque « Collisions et Rayonnement », Orléans, (6-8 septembre 1989)
- M. LAMOUREUX, YIM LEE, J. DUBAU and M. CORNILLE  
*Intensity ratio of resonance to satellite lines in an underdense laser plasma.*  
7th American Physical Society Topical Conference on « Atomic Processes in Plasmas », Gaithersburg (Ma), USA, (October 2-5 1989)
- M. LAMOUREUX and B. DAFIRI  
*Populations of atomic excited states in a non-Maxwellian hydrogen plasma*  
7th American Physical Society Topical Conference on « Atomic Processes in Plasmas », Gaithersburg (Ma), USA, (October 2-5 1989)
- M. LAMOUREUX  
*Polarisation du spectre de rayonnement X-dur : calcul des sections efficaces*  
Séminaire C.E.A., Département de Recherches sur La Fusion Contrôlée, Cadarache, (29 novembre 1989)
- Ph. MALNOULT, H. NGUYEN  
Conférence invitée  
*Molécules transitoires dans les plasmas ultradenses : théorie et expériences.*  
Colloque Collisions et Rayonnement, Orléans, (septembre 1989)
- C. MONTES, A.M. RUBENCHIK  
*SBS limitation for transmission capacity in optical*

fibers,

IV International Workshop on Nonlinear and Turbulent Processes in Physics,  
Kiev, U.R.S.S. (9-22 octobre 1989)

P. MOUNAIX, M. CASANOVA, G. LAVAL, D PESME, et N. SILVESTRE

*The SBS instability and its consequences upon the beat-wave accelerator*

International Plasma Physics Conference, New-Delhi, Inde, (21-28 novembre 1989)

A. NG, L. DA SILVA, B.K. GODWAL, C. CHIU, F. COTTET, M.C. RICHARDSON, P. JAANIMAGI and Y.T. LEE,

*K-Shell Photoabsorption edge spectroscopy in a dense plasma.*

19<sup>th</sup> Anomalous Absorption Conference, Durango, Colorado, USA, (June 19-23 1989).

et

CAP congress, Guelph (Ontario, Canada), (June 26-28 1989)

J.P. ROMAIN,

*Simulation numérique d'ondes de choc engendrées par impulsion laser*

Sciences et Défense, Paris, (Mai 1989)

B. ROZSNYAI et M. LAMOUREUX

*Normalisation des fonctions d'onde du continuum et facteurs de Gaunt de Bremsstrahlung dans les plasmas denses.*

Sixième colloque « Collisions et Rayonnement », Orléans, (6-8 septembre 1989)

A. SUREAU, A. KLISNICK, H. GUENNOU, J. VIRMONT and C. MÖLLER

*Improved C-R model calculations for X-UV lasers by Li-like ions*

IEEE International Conference on Plasma Science, Buffalo, USA, (May 1989)

A. SUREAU

*Processus atomiques dans les ions multichargés créés par champ laser intense*

Congrès de la Société Française de Physique, Lyon-Villeurbanne, (25-29 septembre 1989)

YIM T. LEE and M. LAMOUREUX

*Effects of non-Maxwellian electron distributions on the level populations in laser-produced plasmas*

7<sup>th</sup> American Physical Society Topical Conference on « Atomic Processes in Plasmas », Gaithersburg, Ma, USA, (October 2-5 1989).

## THÈSES

Luc BERGE

*Etude de l'évolution non linéaire du collapse des ondes de Langmuir*

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris XI, Orsay, Juillet 1989

Brigitte CROS

*Evolution non linéaire des ondes de plasma excitées par conversion de mode au voisinage de la résonance de plasma. Application aux expériences de modification de l'ionosphère.*

Thèse de Doctorat de l'université Paris XI, Orsay, 21 Décembre 1989.

Patrick DARQUEY,

*Ondes de choc et accélération de feuilles minces par impulsion laser en interaction confinée. Tests d'applications à la compaction de poudres métalliques.*

Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 29 juin 1989

Christian FIEVET:

*Diagnostic de la zone dense d'un plasma créé par laser par spectroscopie d'absorption sur les transitions  $K\alpha$ . Etude des processus radiatifs de pré-*

*chauffage,*

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris XI,  
Orsay, 15 juin 1989.

PHILIPPE MALNOULT

*Etude théorique et expérimentale des effets de  
hautes densités dans les spectres X émis par les  
plasmas de laser.*

Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, avril  
1989

Nicolas SILVESTRE

*Etude de l'instabilité Brillouin stimulée et de l'instabilité  
modulationnelle dans les expériences d'accélération de particules par  
battement de deux ondes laser.*

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VII, juillet  
1989.

Nathalie TRAGIN

*Diagnostic spectroscopique de plasmas d'or-aluminium créés par impact laser*

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris XI,  
Orsay, 25 janvier 1989.

## COLLABORATIONS EXTERIEURES NATIONALES ET INTERNATIONALES

### F. AMIRANOFF (LULI), G. MATTHIEUSSENT (PGP) et al.

J. Jacquet et al	PNHE Ecole Pol.	Accélération laser de particules
B. Dangor	Imperial College	Batteement d'ondes
T. Bradshaw	Londres Grande Bretagne	
A. Dyson		
M. Gouédard	CEA Limeil	Accélération laser de particules

### R. BENATTAR et al (LULI)

P. Dhez	LSAI LURE Univ. Orsay	Test des optiques X
Meyer Ten Vehn	Max Planck Institut für Quantenoptik, RFA	Simulations numériques
J. Godard	PGP Univ. Orsay	Diagnostics X-UV
D. Attwood	Berkeley Univ. USA	Diagnostics X-UV

### R. FABBRO et al (LALP)

M. Lebériel	Peugeot SA	Chocs métallurgiques
P. Merrien	IRSID	Chocs métallurgiques
J. Frelat	Lab. Méc. des Solides Ecole Polytechnique	Chocs métallurgiques
M. Jeandin	Ecole des Mines Centre des Matériaux	Chocs métallurgiques

### C. LABAUNE et al. (LULI)

H. Baldis	NRC Ottawa, Canada	Interaction
D. Giulietti	Université de Pise, Italie	Interaction

### E. FABRE et al (LULI)

N. de Beaucoudrey	Institut d'Optique (IOTA)	Diagnostics des Implosions par tomographie
P. Fews	Université de Bristol GB	Spectroscopie des particules $\alpha$
P. Rumsby	Rutherford Lab. GB	Réalisation de cibles pour l'implosion
P. Hammerling	La Jolla Institute USA	Synthèse des travaux sur la fusion inertielle



**EUROLASER :**

A. Caruso  
M. Key  
A. Migus  
J.M. Orza  
J. Pert  
M. Vaselli  
F. P. Schäfer  
S. Witkowski

NREN Frascati Laboratory, Italie  
Rutherford Appleton Laboratory, Grande Bretagne  
Laboratoire d'Optique Appliquée, Palaiseau  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Espagne  
University of York, Grande Bretagne  
CNR Instituto for Atomic and Molecular Physics, Italie  
Max Planck für Biophysikalische Chemie, RFA  
Max Planck Institut für Quantenoptik, RFA

**P. MORA et al (CPT)**

J. Ballet  
J.P. Matte

CEA Saclay  
INRS Energie,  
Univ. Québec

Transport délocalisé  
Instabilité acoustique ionique dans les  
plasmas non-Maxwelliens

**D. PESME et al.**

G. Bonnaud  
M. Casanova  
O. Larroche  
E. Williams

CEA Limeil-Valenton  
CEA Limeil-Valenton  
CEA Limeil-Valenton  
Lawrence Livermore  
National Laboratory USA  
KMS Fusion USA

Instabilités Brillouin et Raman  
Instabilité Brillouin  
Equations de Zacharov  
Incohérence spatiale et  
instabilités paramétriques  
Incohérence spatiale et  
instabilités paramétriques

D. Berger

**J. VIRMONT et al**

J.P. Matte

INRS Energie,  
Univ. Québec

Techniques de modélisation pour  
Interaction laser-matière  
dans le cas des impulsions courtes  
en particulier Fokker-Planck

**J.C. GAUTHIER et al (PMI)**

J. Bauche  
  
M. Lashkar  
M. Louis-Jacquet  
M. Klapisch  
  
R. Lee  
R. More  
W. Goldstein  
C. Back

Laboratoire Aimé-Cotton  
Univ Orsay  
CEA Limeil-Valenton  
Spectro absorption  
Univ Jérusalem  
LLNL USA  
LLNL USA

Spectro ions lourds  
Laser X  
Spectroscopie atomique  
Diagnostics plasmas

H. Pépin	INRS Energie	Spectroscopie X
M. Chaker	Québec	
G. Mourou	Univ Ann Harbor	Interaction laser picoseconde
M. Antonetti	ENSTA, Palaiseau	Interaction laser femtoseconde
M. Puech	Aérospatiale	Interaction laser X
R. Gaillard	Nucléotides	Génération champ magnétique, courants
D. Riley	Imperial College	Transport dans implosions
O. Willi		
M. Key	Rutherford laboratory	
P. Norreys		

**P. JAEGLÉ et al (LSAI)**

M. Key	Rutherford Laboratory	Laser X
M. Louis-Jacquet	CEA Limeil-Valenton	Laser X
H. Pépin	INRS Energie	Laser X
J.C. Kieffer	Univ. Québec	
	CE A Cadarache	Bremsstrahlung
	Lawrence Livermore	Bremsstrahlung
	National Laboratory	
	Université of Pittsburgh	Bremsstrahlung

**J.P. ROMAIN et al. (ENSMA)**

M. Jeandin	Laboratoire de Métallurgie des Poudres, Ecole des Mines	Compaction des poudres
	Laboratoire de Mécanique de Physique des Matériaux	Effets métallurgiques
	ENSMA, Poitiers	
M. Chauvaux	Matra SA Vélizy	Endommagement dynamique
M. Marlin	ETCA CREA	Chocs laser, jauge PUDF
A. Ng	Dpt de Physique Univ. BC Canada	Chocs laser

**H. NGUYEN et al (DRP)**

W.B. Kunkol	Lawrence Berkeley Lab. Accelerator & Fusion Division USA	Spectroscopie des ions hautement chargés
R. More	Lawrence Livermore National Laboratory Univ of California USA	Physique Atomique des plasmas denses
J. Seidel	Physikalisch Technische Bundesanstalt Institut Berlin RFA	Perturbations spectrales dans les plasmas

**J. BRIAND et al.**

R. Morse  
L.M. Montieth  
R.L. Moor  
M. Goldman  
M. Newman  
J.J. Rasmussen

H. Pépin

G. Pelletier  
J.L. Bobin  
G. Bonnaud  
M. Decroisette

Univ. Tucson USA  
Falls Univ. de Leland USA  
Livermore Lab USA  
Univ. de Bulder USA  
Institut de Physique de Riso  
Danemark  
INRS Energie  
Univ. du Québec  
Univ. Grenoble  
Univ. Paris VI  
CEA Limeil-Valenton

# LABORATOIRES DE RECHERCHE

## **BIOLOGIE**

Biochimie (BIOC)

## **CHIMIE**

Chimie Fine (DCFI)

Phosphore & Métaux Transition (DCPH)

Synthèse Organique (DCSO)

Mécanismes Réactionnels (DCMR)

## **MECANIQUE**

Mécanique des Solides (LMS)

Météorologie Dynamique (LMD)

## **PHYSIQUE**

Solides Irradiés (SESI)

Optique Appliquée (LOA)

Optique Quantique (OPTQ)

Interfaces et Couches Minces (PICM)

Matière Condensée (PMC)

Biophysique (BIOP)

Milieux Ionisés (PMI)

Physique Théorique (CPHT)

Physique Nucléaire Hautes Energies (PNHE)

Utilisation des Lasers Intenses (LULI)

## **MATHEMATIQUES**

Mathématiques (MAT)

Mathématiques Appliquées (MAP)

## **SCIENCES HUMAINES**

Econométrie (CECO)

Epistémologie (CREA)

Recherche en Gestion (CRG)

## **INFORMATIQUE**

Informatique (LIX)

**LULI** - 91128 Palaiseau Cedex  
Tél. (33)(1) 60 19 41 12 - Télex 601.596 F - Télécopieur 69.41.33.92