

En 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

OPTIQUE APPLIQUEE

Directeur : **André ANTONETTI**
Professeur à l'ENSTA

*Laboratoire commun à l'ENSTA
Unité associée INSERM (U 275)*

Tél. (33) (1) 60 10 03 18

SOMMAIRE

PERSONNEL DE RECHERCHE	2
DOMAINES D'ACTIVITE	5
PHYSIQUE ULTRARAPIDE	6
SOURCES FEMTOSECONDES	6
PHYSIQUE DES SEMI-CONDUCTEURS	8
OPTIQUE NONLINEAIRE	12
BIOLOGIE	12
BIOPHYSIQUE	14
CHIMIE	15
PHYSIQUE ATOMIQUE	15
PHYSIQUE DES LASERS INFRAROUGES	16
OPTIQUE GUIDEE	18
BIOMEDICAL	20
PUBLICATIONS	22
REVUES SCIENTIFIQUES	22
CONGRES	25

PERSONNEL DE RECHERCHE

■ CHERCHEURS

ANTONETTI	André	Professeur à l'ENSTA, Directeur du Laboratoire
AGOSTINI	Pierre**	Docteur ès-sciences, ingénieur CEA
ANDRE	Yves-Bernard	Ingénieur électronicien
ARABAT	Jamal	Doctorat
ASHOKKUMAR	Muthupandian*	PH.D (Université de Madras, Inde), chercheur INSERM
ASTIER	Raymond	Ingénieur E.S.O.
BEREGI	Jean-Paul*	Interne des Hôpitaux, stagiaire DEA
BOTTU	Juliette	Ingénieur informaticien
BOURDET	Gilbert	Docteur ès-sciences, Ingénieur E.S.O.,
BOYER	Gilbert	Docteur ès-sciences
CASSARD	Phillippe	Docteur ès-sciences (X 74)
CHAMBARET	Jean-Paul	Ingénieur E.S.O.
CHEMLA	Denis	Docteur en Médecine, Chargé de Recherche à l'INSERM,
COLLARD	Jean*	Scientifique du Contingent
COMBESCOT	Monique**	Docteur ès-sciences, Directeur de Recherche au CNRS
COUDRAY	Nicolas*	Interne des Hôpitaux, Stagiaire DEA
DEMOUCHY*	Gilles	Doctorat
DUNAND	Eric*	Scientifique du Contingent
EL AMRANI	Abdel-Ilah	Doctorat
ETCHEPARE	Jean	Docteur ès-sciences, Chargé de Recherche au CNRS
FOING	Jean-Paul	Doctorat, (X 84)
FRANCO	Michel	Ingénieur E.S.O.
GAUDUEL	Yann	Docteur ès-sciences, Chargé de Recherche à l'INSERM
GERVAIS	Henri	Docteur ès-sciences, Maître de Conférences à l'Ecole Polytechnique
GRILLON	Georges	Ingénieur C.N.A.M.
GUENRO	Alain*	Scientifique du Contingent
HELLO	Patrice	Doctorat
HULIN	Danièle	Docteur ès-sciences, Directeur de Recherche au CNRS
JOFFRE	Manuel	D.E.A., Agrégation
LAMBRY	Jean-Christophe	Ingénieur
LAMOUROUX	Brigitte	Docteur ès-sciences, Ingénieur E.S.O.
LEBLANC	Catherine*	Doctorat
LECARPENTIER	Yves	Docteur en Médecine, docteur ès-sciences, Directeur de Recherche à l'INSERM
LEJEMTEL	Thierry*	Chercheur INSERM
LIKFORMAN	Jean-Pierre*	Doctorat
LOMPRE	Anne-Marie*	Docteur ès-sciences, Chargé de Recherche à l'INSERM

MAILLARD	Eric	Ingénieur électronicien-informaticien
MARTIN	Jean-Louis	Docteur ès-sciences, Chargé de Recherche à l'INSERM
MERIAN	Matthieu	Docteur ès-sciences, Chargé de Recherche au CNRS
MERY	Phillippe*	Vétérinaire, Stagiaire DEA
MIGUS	Arnold	Professeur à l'ENSTA, Docteur ès-sciences, (X 69), Directeur de Recherche au CNRS, sous-directeur du Laboratoire
MOURCHID	Ahmed	Doctorat
MYSYROWICZ	André	Docteur ès-sciences, Directeur de Recherche au CNRS
PAYE	Jérôme	Doctorat
PETITE	Guillaume**	Docteur ès-sciences, Ingénieur CEA
POMMERET	Stanislas*	Doctorat
POURNY	Jean-Claude	Ingénieur E.S.O.
PRADE	Bernard	Ingénieur E.S.O.
RIOU	Bruno	Docteur en Médecine
TANGUY	Christian	Doctorat 3ème cycle, Agrégation
VIGROUX	Luc*	Doctorat
VINET	Jean-Yves	Docteur ès-sciences
WAZEN	Paul	Docteur ès-sciences

■ INGENIEURS, TECHNICIENS ET ADMINISTRATIFS

CHEMLA	Elie
CLERGUE	Michel
DOS SANTOS	Armino
DELAGNEAU*	Claire
ENGLENDER	Jacques
HAMONIAUX	Guy
LAMBERT	Francine
LECUYER	Marie-José
MILLY	Daniel
MULLER	Régine
MULLOT	Geneviève
RODRIGUEZ	Andrée
YAMADA	Noëlle

* départs ou arrivées courant 1989

** chercheurs à temps partiel

Domaines d'activité du laboratoire

Les recherches au laboratoire comportent quatre thèmes:

La Physique Ultrarapide avec la mise au point de sources lasers femtosecondes et leur utilisation en Physique en Biologie et en Physicochimie.

La Physique des Lasers Infrarouges avec les applications industrielles et spatiales.

L'Optique Guidée avec l'étude théorique de coupleurs à fibre et leur réalisation.

Le Biomédical avec la mécanique musculaire et l'application des lasers en médecine.

SOURCES FEMTOSECONDES et PHYSIQUE ULTRARAPIDE

SOURCES : Etirement, compression, caractérisation d'impulsions femtosecondes jusque dans le proche infrarouge

PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS : Transitions optiques virtuelles dans les semiconducteurs.- Effet de cohérence et dynamique monocoup.- Piégeage ultrarapide des électrons dans le silicium amorphes.- Effet tunnel entre puits quantiques couplés. - Points quantiques. - Bistabilité optique ultrarapide. - Hole-burning dans les semiconducteurs III-V.- Nonlinéarités optiques dans CuCl.- Condensation de Bose-Einstein de paraexcitons dans Cu₂O.- Modélisation de structure de bandes.

OPTIQUE NON LINEAIRE : Non linéarités optiques (état électronique fondamental). - Application à l'étude des structures cristallines.

BIOLOGIE : Spectroscopie femtoseconde et dynamique interne des protéines - Hémoglobine et myoglobine humaines.- Séparation de charges dans les centres réactionnels de bactéries. - Dynamique

de la cytochrome oxydase.- Simulation par la dynamique moléculaire

BIOPHYSIQUE : Dynamique de réactions bioradi-cataires en phase condensée.- Mécanisme de formation d'une paire radicalaire.- Etudes théoriques du couplage électron-ion hydronium en phase aqueuse.

CHIMIE : Calcul des polarisabilités et hyperpolarisabilités électroniques des atomes.

PHYSIQUE ATOMIQUE : Ionisation multiphotonique.- Etude des atomes en champs super-intenses.

PHYSIQUE DES LASERS INFRAROUGES

Réseau cohérent de lasers à guide d'onde autofocalisant.- Laser TEA CO₂ cohérent pour un «lidar-vent» aérospatial.- Impulsions brèves à 10,6µm.- Laser à ammoniac à 12µm pompé optiquement par laser à CO₂.

OPTIQUE GUIDEE

Travaux expérimentaux sur les cavités résonantes à fibre optique.- Gyromètre optique «tout fibre».- Etudes théoriques: Modélisations des zones de couplage sur fibre optique. - Modélisation B.P.M.- Modes d'une fibre optique courbée.- Théorie des guides optiques.- Antenne interférométrique à grande base.

BIOMEDICAL

Cardiologie et Pneumologie: spectroscopie des protéines du muscle.- Traitement informatisé des signaux biologiques. Anesthésiologie. - Toxicologie et Pharmacologie de substance à tropisme cardiaque.- Echocardiographie.- Doppler vasculaire. - Photothérapie laser des tumeurs de la vessie.

PHYSIQUE ULTRARAPIDE

SOURCES FEMTOSECONDES

1 - Nouvelles sources

En associant aux techniques précédentes celle de la compression des impulsions dans les fibres optiques, nous avons engendré et amplifié jusqu'au microjoule des impulsions de 16fs de durée à une cadence de 11kHz. Nous avons, en collaboration avec une équipe de l'IOTA, étudié et démontré l'amplification des impulsions à la sortie de la fibre optique et leur compression. Ceci a été rendu possible par un choix judicieux de colorants (DCM et Rh640) pompés par une partie du faisceau à 512nm du vapeur de cuivre et couvrant une bande spectrale très large, avec en fin de chaîne, un étage de compression constitué d'un système de 4 prismes à haut indice. Ces performances sont les meilleures jamais réalisées pour des impulsions aussi brèves.

Nous avons réalisé une amplification haute cadence (11 ou 5kHz) à l'aide d'un laser à vapeur de cuivre permettant d'atteindre des énergies de quelques microjoules. Avec l'amplification du continuum nous avons engendré des impulsions de 80fs accordables dans une gamme spectrale 580nm-850nm et d'énergie voisine du microjoule.

2 - Compression et caractérisation d'impulsions femtosecondes

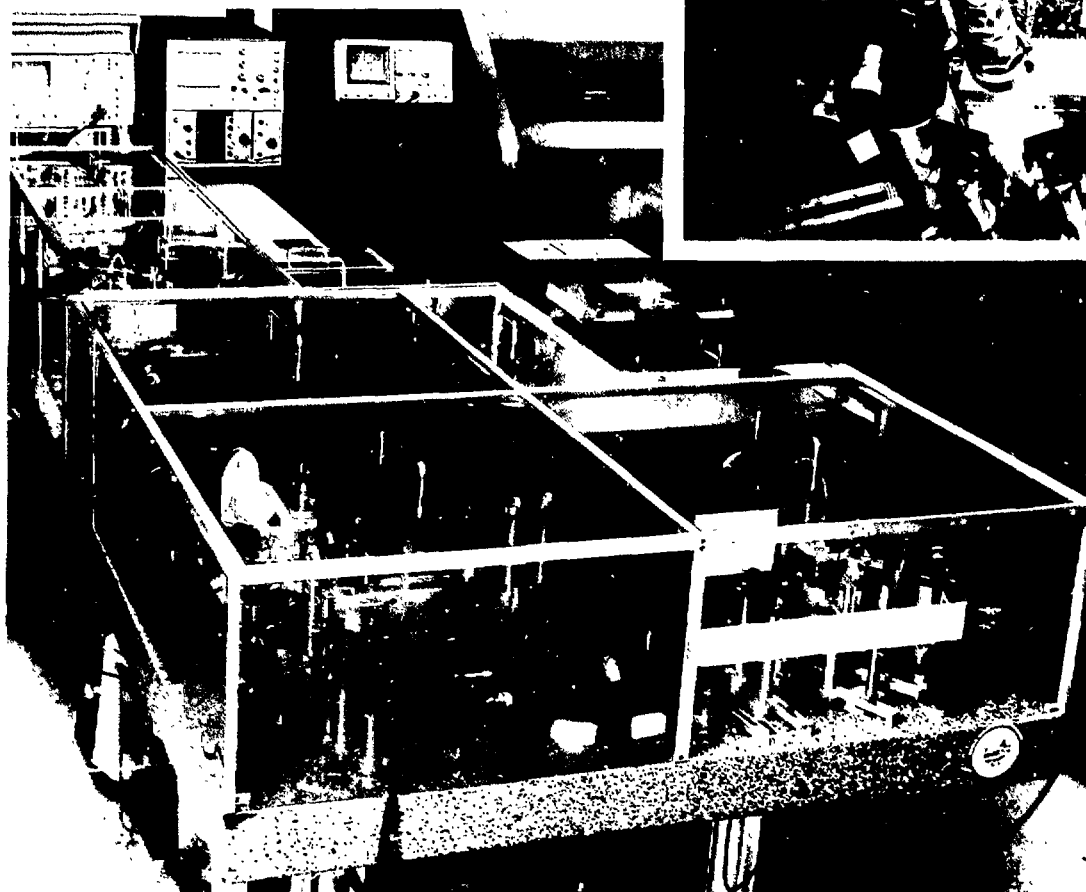
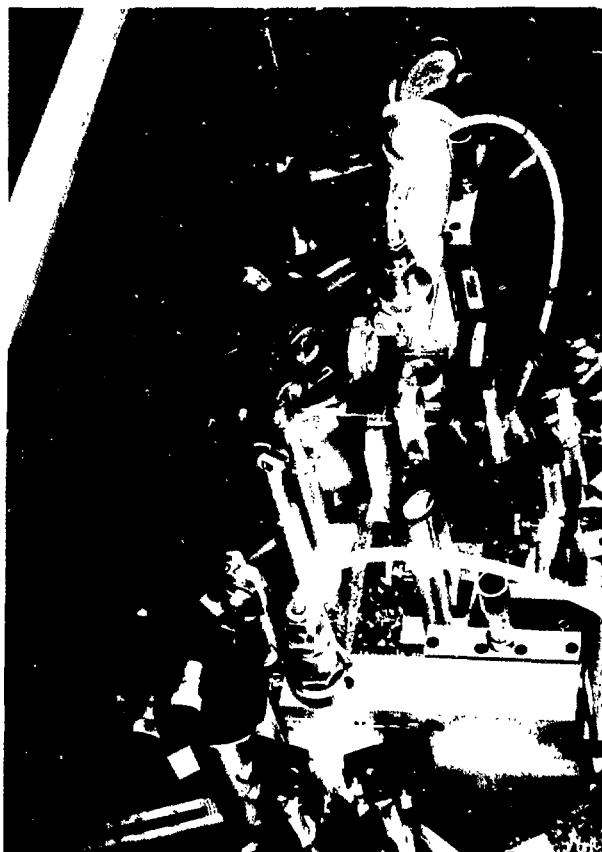
Le programme de développement de lasers femtoseconde de grande puissance (100-200fs, qqmJ) demande la mise au point de montages optiques assurant l'étirement temporel d'un facteur 1000 à 3000 avant d'être recomprimées jusqu'à leur durée initiale par une double paire de prismes. Après avoir étudié la théorie des montages d'étirement et de

compression temporelles, une expérience préliminaire d'un facteur d'étirement-compression supérieur à 1000 a été conduite avec succès. La mesure de l'impulsion finale a été trouvée égale à celle de l'impulsion initiale à moins de 10% près. L'impulsion a été analysée à l'aide de son intercorrélation avec l'impulsion délivrée par le laser, permettant, compte tenu des très grandes différences de durée, une mesure de son profil réel. A l'aide d'un filtrage de fréquences de l'impulsion, on a étudié la relation entre une impulsion très au-dessus de la limite de Fourier et son spectre. Cette relation est très différente de la transformée de Fourier classique reliant le profil temporel et le spectre des impulsions caractérisées par un produit $\Delta t \cdot \Delta \omega$ minimum. Une analyse théorique du problème a permis d'expliquer les résultats expérimentaux. L'analyse du profil temporel des impulsions femtoseconde est indispensable pour le contrôle des effets physiques des lasers à haute puissance. Une méthode originale, par interférométrie à 3 ondes et génération de la 3ème harmonique, a été envisagée. Cette méthode supposant un traitement informatique très élaboré, on a commencé la mise au point d'un programme de traitement du signal de l'interféromètre. Cette mise au point devrait être poursuivie par une équipe du CONICET (Argentine) à la faveur d'une coopération internationale demandée au CNRS et au CONICET. Dans le domaine de l'étude de la propagation des impulsions sub-picosecondes dans les fibres, une interprétation physique de la dissociation du spectre faisant intervenir la vitesse du centre de gravité et la vitesse de phase a été proposée. Cette intervention permet d'obtenir une expression analytique approchée pour l'écart en fréquence des 2 bandes du spectre. Une application de ce concept aux lasers femtoseconde à cavité compensée a été commencée en collaboration avec l'Institut d'Optique d'Orsay et a permis d'expliquer la variation des écarts en fréquence entre les 2 longueurs d'onde émises. Les mesures effectuées ont permis d'évaluer les termes de dispersion résiduels d'ordre 2 et d'ordre 3 de cette cavité.

**AMPLIFICATION DES IMPULSIONS
FEMTOSECONDES À 6 kHz :**

En haut successivement visualisation :
1°) de l'autocorrélation temps réel
donnant la durée de l'impulsion.
2°) du train d'impulsions à 80 mHz
dans l'oscillateur.
3°) de l'impulsion après amplification
par un laser à vapeur de cuivre à 6 kHz.

- Oscillateur femtoseconde en haut à gauche,
- Amplificateur 6 passages en bas à gauche
(vue détaillée en encart supérieur)
- Génération du continuum en bas à droite
(vue détaillée en encart inférieur).

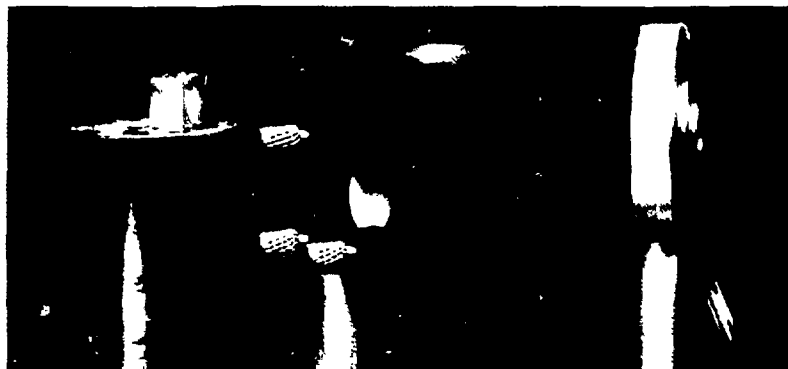


**Amplificateur
multipassages.**

*Pompage par
laser à vapeur
de cuivre
à 6 kHz.*



**Génération et
visualisation
du continuum
spectral.**



PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS

1 - Transitions optiques virtuelles dans les semi-conducteurs

Nous avons étudié l'interaction d'un semiconducteur avec la lumière lors d'une excitation non résonnante. Dans ce cas, l'énergie des photons est choisie inférieure à toute absorption; il ne peut y avoir donc de transition réelle. Un électron peut cependant passer dans un état excité pendant un temps très bref, compatible avec la relation d'incertitude de Heisenberg, avant de retomber dans l'état fondamental. On parle alors de transition virtuelle. Ce phénomène, connu sous le nom d'effet Stark optique en physique atomique, a été mis en évidence dans les semiconducteurs au laboratoire en 1986. Il se manifeste par un déplacement vers les hautes énergies des raies d'absorption du matériau.

Des aspects de l'effet Stark optique spécifiques aux semiconducteurs ont été étudiés en collaboration avec M. Combescot (G.P.S de l'E.N.S.). En effet, la structure de bande du GaAs suggère une grande dépendance des phénomènes observés en fonction des polarisations relatives, linéaires ou circulaires, des faisceaux optiques. Une levée de dégénérescence de l'exciton a pu être mis en évidence dans l'arséniure de gallium massif et dans les puits quantiques, ceci sous l'action exclusive de la lumière et non pas d'un champ magnétique ou d'une contrainte externe.

2 - Effet de cohérence et dynamique monocoup.

Les expériences avec une très haute résolution temporelle se font toujours dans un schéma de type pompe et test puisqu'aucun détecteur n'est suffisamment rapide par lui-même. Cependant, lorsqu'un milieu est perturbé plus rapidement que son temps de cohérence (temps de déphasage effectif), le signal enregistré dans les expériences pompe-test ne reflète plus le phénomène étudié à l'intérieur du matériau. On observe par exemple des oscilla-

tions spectrales et temporelles et un signal apparaissant pour des délais négatifs, c'est à dire lorsque le faisceau test sonde le matériau avant l'excitation.

Nous avons analysé nos résultats expérimentaux dans le cadre de l'approximation adiabatique, en particulier ceux reliés à l'effet Stark optique qui est un effet ultrarapide. Nous avons obtenu des solutions analytiques permettant de reproduire exactement tous les résultats expérimentaux. De plus, nous avons mis au point une méthode par transformée de Fourier qui, à partir des spectres oscillants, permet de retrouver la dynamique réelle à l'intérieur du matériau. Cette méthode qui n'a besoin en principe que d'une expérience monocoup n'est pas limitée au seul effet Stark optique mais est une méthode générale pour suivre les dynamiques ultrarapides des nonlinéarités optiques.

3 - Piégeage ultrarapide des électrons dans le silicium amorphe

La conduction dans les semiconducteurs amorphes est tributaire des processus de capture par les pièges et de dépiégeage par excitation thermique. En conséquence, il est important d'étudier ces étapes avant de passer à des développements technologiques plus avancés.

Grâce au laser femtoseconde, il est possible d'injecter en un temps ultrabref une grande quantité de porteurs ($N \leq 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) et de suivre son évolution temporelle vers le piégeage ou la disparition. Contrairement au cas des cristaux où la saturation d'absorption en fonction de la longueur d'onde renseigne directement sur la position en énergie des porteurs, la non-conservation du moment dans les amorphes rend les études spectrales inefficaces. Par contre, on y observe une importante absorption intrabande induite, dite absorption par porteur libre, proportionnelle à la densité de porteurs. Par ailleurs, on mesure également l'échauffement du réseau grâce à la renormalisation du gap. Connaissant la variation de la densité de porteurs et l'énergie qu'ils ont abandonnée au réseau, on peut

donc retracer leur évolution.

Ces études se faisant sur film mince, nous avons montré qu'il est important de mesurer simultanément la réflectivité et la transmission en fonction du retard après l'excitation. Par inversion de la formule de Fabry-Perot pour un milieu intracavité dissipatif, on obtient les changements d'indice et d'absorption. Pour les grandes longueurs d'onde de test, l'absorption induite est uniquement d'origine électronique. Nous avons montré qu'elle suit bien le modèle de Drude avec un temps de collision de 0,7 fs correspondant aux diffusions sur les défauts (très nombreux) de l'amorphe. Cette étude a été menée en collaboration avec le laboratoire PICM (Ecole Polytechnique) et l'Université de Princeton (USA).

4 - Effet tunnel entre puits quantiques couplés

La structure asymétrique de puits quantiques couplés GaAs/AlGaAs/GaAs est de plus en plus étudiée en vue d'applications optoélectroniques. Nous nous sommes intéressés à la mesure du temps de transfert de porteurs d'un puits à l'autre. Les paramètres importants sont l'épaisseur de la barrière de potentiel séparant les puits et l'existence de quasi-résonance entre les niveaux d'énergie des puits larges et étroits (le transfert étant alors plus rapide). Cette étude, qui se poursuit actuellement avec le CNET, devrait permettre de choisir les paramètres adéquats en vue d'obtenir une valeur donnée du temps de transfert interpuits.

5 - Points quantiques

Passer d'un système tridimensionnel à un système bidimensionnel se fait en étudiant des couches ultraminces (puits quantiques). On y observe un renforcement des nonlinéarités optiques. En extrapolant, on s'attend à des propriétés encore plus remarquables pour des systèmes confinés dans les 3 dimensions (points quantiques), encore appelés systèmes à zéro dimension. Ceux-ci sont réalisés par un ensemble de microcristallites de très faibles dimensions (de l'ordre de 50 Å) maintenues dans une matrice de verre. A cause de la difficulté d'ob-

tention de microsphères de taille identique, leur physique est encore peu connue.

Les expériences de hole-burning (saturation d'états par excitation sélective) que nous avons faites avec l'Université d'Arizona, à haute et basse température, apportent les premiers éléments de réponse. En excitant sélectivement les microcristallites d'une seule taille, nous avons mesuré un temps de déphasage de 25fs. Pour les plus petites tailles, nous avons mis en évidence la quantification des trous. Enfin, l'absorption induite observée à plus haute énergie correspond à l'excitation d'états à deux paires à l'intérieur d'une même microcristallite.

6 - Bistabilité optique ultrarapide

Dans le cadre de notre projet de bistabilité optique ultrarapide, nous avons entrepris une étude préliminaire sur la dépendance spectrale des variations d'indice dans un semiconducteur excité. Pour ce faire, on utilise le mélange à quatre ondes non dégénérées. Deux faisceaux intenses arrivant en coïncidence dans le semiconducteur y créent un réseau d'indice ou d'absorption sur lequel vient se diffracter un faisceau test. En étudiant l'efficacité de diffraction en fonction de la longueur d'onde du test, les régions spectrales de grande nonlinéarité peuvent ainsi être déterminées, ainsi que leur dynamique.

7 - Hole-burning dans les semiconducteurs III-V

La saturation sélective des états lors d'une excitation monochromatique renseigne sur la relaxation vers le bas de bande des porteurs créés avec un excès d'énergie. En particulier lorsque l'excès d'énergie est suffisant, il y a émission de phonons optiques, processus en concurrence avec les collisions entre porteurs qui tendent à répartir la distribution des particules. Nous étudions actuellement en collaboration avec le CNET, l'influence de paramètres comme la densité des porteurs ou l'excès d'énergie par rapport au bas de la bande sur ces différents processus.

8 - Nonlinéarités optiques dans CuCl

Nous avons déterminé la nonlinéarité optique d'ordre trois associée à la présence de la résonance du biexciton dans CuCl, par plusieurs méthodes (une confusion régnait dans la littérature à ce sujet, avec des écarts de 4 ordres de grandeur sur la valeur de χ^3). Nous obtenons $\chi^3 = 6.10^{-5}$ esu, valeur supérieure aux antécédentes. Ceci représente une borne inférieure, limitée par la résolution du système et susceptible d'être révisée à la hausse. Cette valeur considérable (il s'agit d'une nonlinéarité optique «vraie») laisse entrevoir des applications intéressantes (états comprimés du rayonnement) malgré le fait qu'il soit nécessaire de travailler à basse température. Les divergences dans les mesures antérieures proviennent, à notre avis, des effets de saturation qui interviennent lorsque l'intensité lumineuse dépasse quelques KW/cm².

9 - Condensation de Bose-Einstein de paraexcitons dans Cu₂O.

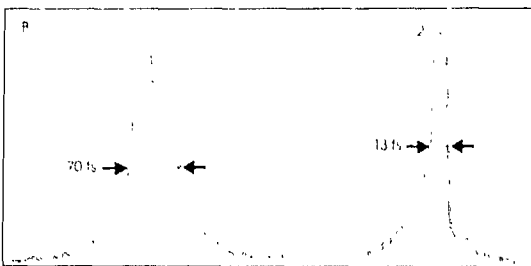
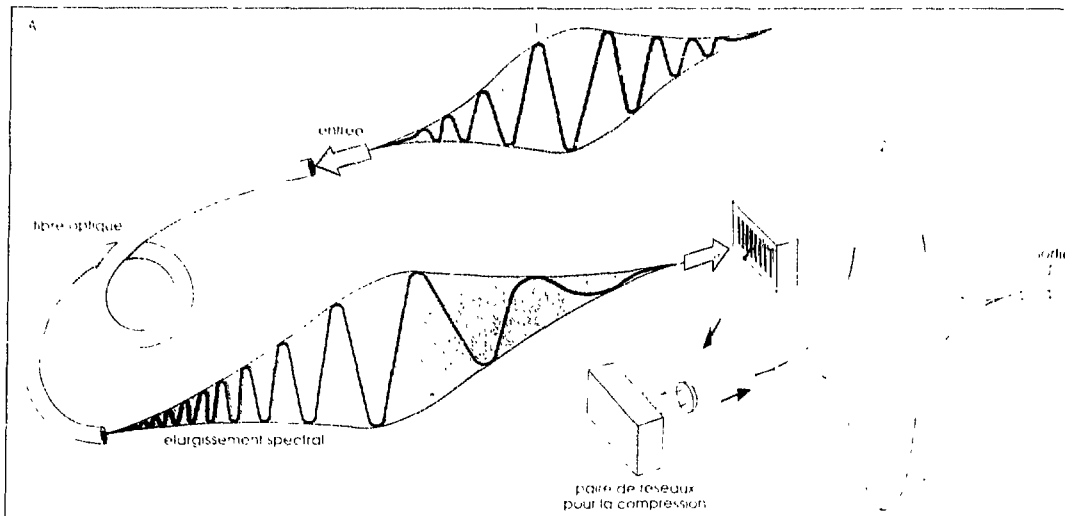
Nous avons précédemment montré que les orthoexcitons dans Cu₂O prennent la forme d'un gaz de bosons quantiquement dégénérés sous forte excitation optique. La densité des particules atteignait même dans les meilleurs cas la densité critique pour une condensation de Bose-Einstein, sans toutefois franchir nettement la frontière de séparation de phase. Nous nous sommes récemment intéressés aux paraexcitons qui coexistent avec les orthoexcitons. Les expériences sont beaucoup plus difficiles car les paraexcitons sont optiquement très peu actifs. Les spectres de luminescence s'expliquent bien dans l'hypothèse d'une condensation de Bose-Einstein des paraexcitons, avec environ 80% des particules dans l'état condensé. Nous avons également mesuré les propriétés de transport des paraexcitons dans les mêmes conditions, par imagerie de luminescence résolue en temps et spatialement. On trouve un écoulement sans freinage (au lieu de l'écoulement diffusif à plus basses densités) ce qui suggère l'apparition d'un superfluide associé

à la condensation de Bose-Einstein. La valeur de la vitesse du superfluide est proche, mais légèrement inférieure à celle des phonons acoustiques du cristal (vitesse critique de Landau).

10 - Modélisation de structure de bandes.

La double dégénérescence de Kramers des bandes électroniques des semiconducteurs homopolaire de structure diamant est levée par interaction spin-orbite dans les composés III-V. On a modélisé cette levée de dégénérescence dans l'approximation des liaisons fortes. Nos résultats analytiques pour le minimum de 10 bandes de conduction sont en tout point comparables à ceux de l'approximation k.p (M.C. Cardona et al, 1988), mais les gaps, les interactions spin-orbitales, et nos équivalents des éléments de matrice de l'impulsion des électrons sont définis ab initio.

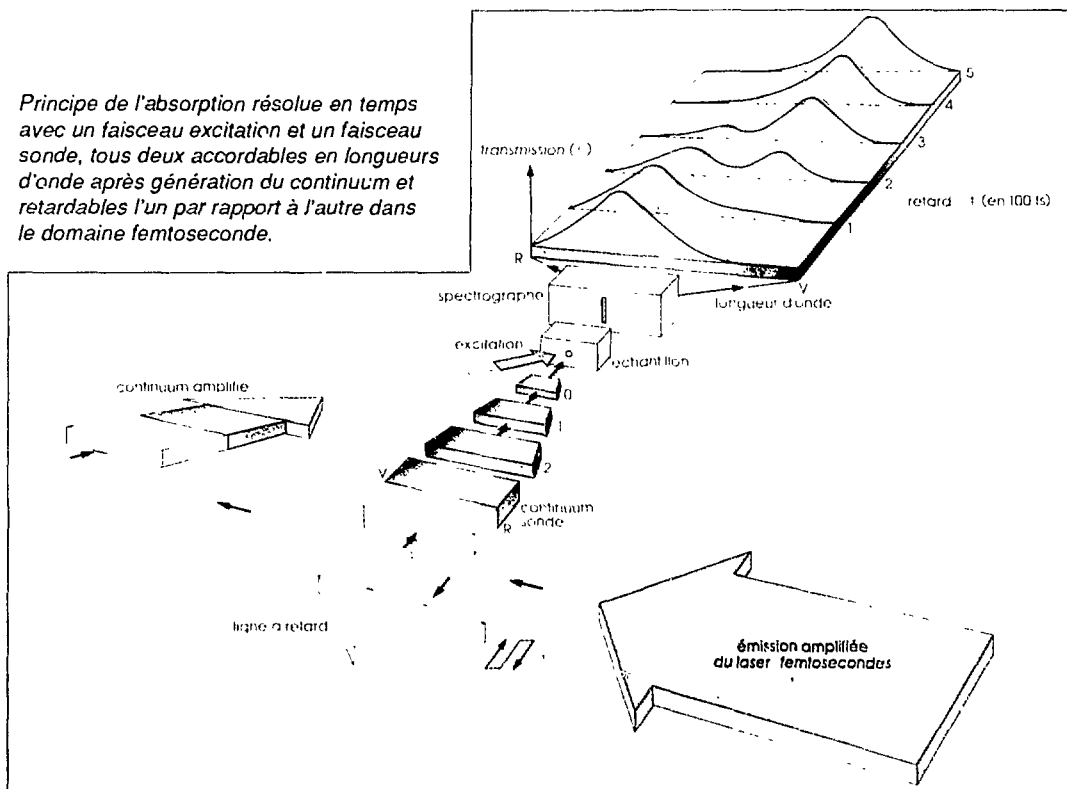
L'application des données atomiques à nos résultats reproduit bien les données expérimentales (GaAs, InP, GaSb, InSb). On s'intéresse maintenant, toujours dans l'approximation des liaisons fortes, au calcul du déplacement des niveaux électroniques des III-V et II-VI en présence d'un champ magnétique.



L'un des principes utilisés pour réduire la durée d'une impulsion optique, durée initiale de l'ordre de 100 femtosecondes, consiste d'abord à injecter cette impulsion dans une fibre optique de quelques centimètres de long (A). L'onde y acquiert alors de nouvelles fréquences : elle voit son front avant glisser vers le rouge, tandis que son front arrière glisse vers le bleu. Or, lorsqu'une impulsion s'élargit ainsi en fréquence, il devient possible de la comprimer davantage dans le temps. On utilise

pour cela une paire de réseaux optiques qui permet aux composantes de couleur plus bleue, moins déviées par le réseau, de rattraper les couleurs plus rouges. De sorte qu'en fin de compte, l'impulsion résultante (C) est plus courte que l'impulsion initiale (B).

Principe de l'absorption résolue en temps avec un faisceau excitation et un faisceau sonde, tous deux accordables en longueurs d'onde après génération du continuum et retardables l'un par rapport à l'autre dans le domaine femtoseconde.



OPTIQUE NON LINEAIRE

1 - Non linéarités optiques

(état électronique fondamental)

Le mélange à 4 ondes, correspondant à l'interaction dans un milieu transparent d'impulsions très courtes (de l'ordre de 50 fs) et énergétiques (1 GW/cm²) permet d'exciter de façon non résonnante des non linéarités d'ordre supérieur à 3, sans atteindre le seuil de dommage des matériaux étudiés.

Des expériences ont été conduites sur un verre - WG360- et sur des liquides (CS₂, C₆H₆) placés dans des cuves de 1mm. Les géométries de mesure correspondaient soit à une configuration Raman-Nath, soit à une configuration où l'accord de phase était satisfait pour χ^3 ou pour χ^5 .

La distinction entre nonlinéarités d'ordre 5 et phénomènes en cascade a été démontrée par l'utilisation de propriétés liées à la polarisation. Nous avons mesuré les relations entre les coefficients χ_{ijklmn} . Une théorie a été élaborée pour corroborer ces résultats. Elle consiste en la résolution itérative d'une équation différentielle d'un modèle vectoriel d'oscillateur anharmonique à 6 photons.

2 - Application à l'étude des structures cristallines.

Le mélange à 4 ondes, dans une configuration réseau induit transitoire, est bien adapté à l'excitation des phonons de basse fréquence. Dans cette étude menée en collaboration avec l'Université de Sherbrooke (Canada), nous avons, pour la 1ère fois par cette méthode, mesuré une courbe de dispersion de polaritons. Les mesures ont été effectuées sur un mode A1 (TO) d'un monocristal de PbTiO₃. L'étude de l'évolution des modes «mous» en fonction de la température est en cours. Elle doit permettre de confirmer, ou infirmer des résultats obtenus dans le domaine spectral avec une plus faible précision.

BIOLOGIE

L'utilisation conjointe de la spectroscopie femtoseconde d'absorption ou de Raman de résonance et de la simulation par la dynamique moléculaire, nous permet d'appréhender les mouvements internes des protéines jouant un rôle dans la fonction biologique du complexe moléculaire. Le rôle stratégique de certains amino-acides est exploré en réalisant la mutation spécifique de ces résidus et la production de la protéine mutée par génie génétique. Cette approche variationnelle est au préalable simulée sur ordinateur où l'évolution temporelle de différentes observables est estimée.

Nous étudions ainsi:

- les premières étapes de la transition allostérique dans l'hémoglobine
- le rôle de différents amino-acides de la myoglobine humaine
- les mécanismes de transfert d'électrons dans le centre réactionnel de différentes bactéries photosynthétiques
- les mécanismes de transduction photo-chimique dans la bactériorhodopsine
- la réactivité de la cytochrome oxydase avec différents ligands exogènes.

1 - Hémoglobine et myoglobine humaines

Par spectroscopie Raman de résonance subpicoseconde, l'évolution des modes de vibration de l'hème à 1350 cm⁻¹ et à 220 cm⁻¹ sont observés, 200 fs à 100 ps après photodissociation du ligand par une impulsion de 120 fs. L'hélice F8 a ainsi été identifiée comme étant une voie de l'interaction hème-hème avec un mouvement de libration de l'histidine proximale en 6ps.

La cinétique de recombinaison du NO est très sensible à toute modification de la poche de l'hème. La relaxation de la protéine après dissociation du ligand perturbe cette cinétique de recombinaison. Associée à la mutagenèse dirigée, cette technique permet l'identification des résidus participant au contrôle de la réactivité de l'hème dans la myoglo-

bine et l'hémoglobine. Les mécanismes d'action de nouveaux effecteurs allostériques de l'hémoglobine ont été étudiés. L'action synergique de ces effecteurs et des organophosphates dans la stabilisation de la structure T se traduit à l'échelle picoseconde par une perturbation de la phase de recombinaison géminée du NO.

2 - Séparation de charges dans les centres réactionnels de bactéries

La séparation de charge primaire dans ces bactéries, s'effectue dans une protéine transmembranaire: le centre réactionnel. Nous avons pu montrer que le transfert d'un électron s'effectue en 3 ps à température ambiante sur une distance de 17 Å et que cette cinétique s'accélère à des températures cryogéniques. Cette barrière énergétique d'activation négative suggère le couplage de la réaction avec un mode de la protéine à 80 cm⁻¹, l'énergie de réorganisation de la protéine compensant presque parfaitement l'énergie d'activation.

Le centre réactionnel provenant de la bactérie thermophile *Chloroflexus aurantiacus* est le plus simple des centres réactionnels fonctionnel qui ait été isolé. Comme dans les autres centres, le donneur primaire est l'état singulet (P*) d'un dimère de bactériochlorophylles. Le spectre d'absorption de cet état est composé de deux transitions à 805nm et à 750nm qui sont la conséquence d'une perturbation du couplage excitonique au sein du dimère.

Dans une autre souche bactérienne, la substitution, par mutagenèse dirigée, de 5 aminoacides dans une hélice stabilisant l'accepteur d'électron a inhibé le transfert d'électron. Ceci a permis d'identifier définitivement l'accepteur primaire et de caractériser P*.

3 - Spectroscopie et dynamique de la cytochrome oxydase

La cytochrome oxydase est un complexe protéique localisé dans la membrane interne des mitochondries. Cette enzyme, présente chez les eucaryotes et la plupart des procaryotes, catalyse la réduction

de l'oxygène moléculaire en eau, réaction couplée à la translocation de H⁺. Ce complexe transmembranaire est composé de 13 sous-unités polypeptidiques. Parmi celles-ci, les 3 plus importantes sont codées par l'ADN mitochondrial et fixent les sites actifs métalliques: 2 hèmes (a et a₃) et deux cuivres non hémiques (Cu_B et Cu_A). L'oxygène moléculaire se lie de manière réversible à l'hème a₃ dans un site qui comprend aussi le cuivre Cu_B et qui est situé près de la surface de la membrane interne. La molécule de CO se fixe de manière compétitive au même site que O₂.

Par spectroscopie d'absorption femtoseconde, nous avons étudié les premières étapes de la réaction après photodissociation du CO avec une impulsion de 100fs. Les spectres transitoires d'absorption de la bande et de la bande de Soret suggèrent la migration du CO photodissocié et sa liaison au cuivre Cu_B en 0.8 ps. L'apparition d'une nouvelle bande d'absorption en 4.5 ps est interprétée comme étant la conséquence de la liaison d'un ligand endogène (probablement l'imidazole d'une histidine) à l'hème a₃. Ces réarrangements structuraux du site actif réalisent un mécanisme de porte qui pourrait constituer une part essentielle de la régulation de l'activité enzymatique lors de la réaction physiologique de l'enzyme avec l'oxygène.

4 - Simulation par la dynamique moléculaire

Nous avons installé et optimisé le programme CHARMM sur le calculateur Alliant VFX40 du laboratoire. Le rapport de performance obtenu en regard du Cray est de 1/5 à 1/4 lors de la minimisation et du calcul d'une trajectoire de 150 ps d'une molécule de 1800 atomes. Nous avons développé un logiciel graphique 3D interfacée avec CHARMM permettant la visualisation des trajectoires.

Plusieurs trajectoires, simulant la photodissociation du ligand dans la myoglobine ont été réalisées. Parmi les observables calculées, nous développons une méthode de simulation de la recombinaison géminée de la molécule de NO, associée à la simulation de mutations de différents amino-acides.

Les résultats obtenus sont d'une part confrontés aux données expérimentales de la spectroscopie femtoseconde et picoseconde et nous guident d'autre part dans notre programme de mutagenèse dirigée.

BIOPHYSIQUE

L'objectif des recherches est d'étudier les mécanismes des réactions bioradicalaires en phase condensée

1 - Mécanisme de formation d'une paire radicalaire

Des études de spectroscopie femtoseconde ont permis :

1- de caractériser l'un des mécanismes primaires du couplage entre une forme relaxée de l'électron (électron hydraté) et l'un des contre ions cathioniques les plus importants en biologie: l'ion hydronium (H_3O^+) ou proton hydraté.

2- d'appréhender la dynamique d'une réaction bioradicalaire en phase aqueuse concentrée.

Dans une première étape, la réactivité d'un électron hydraté avec le radical hydronium (H_3O^+) a été étudiée par photoionisation à deux photons de molécules d'eau.

En phase aqueuse homogène, la dynamique de recombinaison géminée entre ces deux espèces correspond à un processus à 1D au cours duquel le transfert d'un proton d'une molécule d'eau dans la cage de solvatation de l'électron (saut de proton) serait l'étape limitante de la réaction de neutralisation. L'effet isotope observé en présence de deutérium confirme cette hypothèse.

Dans le but d'approfondir la formation de la paire radicalaire électron-ion hydronium, des travaux expérimentaux de photochimie réactionnelle ont été effectués dans des milieux aqueux concentrés en ions hydronium ($H_3O^+ = 11M$). La photoéjection d'un électron épithermique ($E < 2eV$) est obtenue par photoionisation de l'ion chlorure (Cl^-) des impulsions femtosecondes ultraviolettes (310nm). Dans de telles conditions, une espèce transitoire corres-

pondant à une paire radicalaire néoformée (électron- H_3O^+) a pu être identifiée en moins de 250fs. Cette espèce, dont la durée de vie est de 850fs, présente une bande d'absorption dans le proche infrarouge ($E_{max} = 1.3eV$) et correspond à un état hybride de l'électron entre une forme localisée et un état totalement hydraté.

Les études de dynamique réactionnelle ont permis de clairement démontrer que la formation de la paire radicalaire intervenait en compétition avec le processus d'hydratation de l'électron. Un tel résultat représente la première identification directe d'une réaction radicalaire ultra-rapide intervenant dans la sphère de solvatation de l'accepteur.

Des travaux sont actuellement en cours afin de définir si un état localisé de l'électron est le précurseur commun d'un état hydraté de l'électron et d'une paire de rencontre pour laquelle un processus diffusif ne peut être envisagé.

2 - Etudes théoriques du couplage électron-ion hydronium en phase aqueuse.

Les étapes primaires du couplage entre un électron de subexcitation et l'ion hydronium (H_3O^+) sont caractérisées par l'existence d'états transitoires dont les probabilités de formation et les durées de vie peuvent dépendre des propriétés protoniques du milieu (existence de liaisons hydrogène, densité de proton autour d'une molécule d'eau, effets de polarisabilité sur de courtes distances).

Afin d'interpréter les données femtosecondes sur la dynamique de capture dissociative d'un électron sur le proton hydraté dans une paire radicalaire ($e^- : H_3O^+$), nous avons commencé à développer un travail théorique sur la dynamique du couplage entre un électron et une forme protonée d'une molécule d'eau. Ces travaux théoriques, menés sur CONVEX C 220, abordent les étapes primaires de formation d'une paire radicalaire en considérant la position de l'électron et sa quantité de mouvement quantique d'une part et les caractéristiques du potentiel associé au proton hydraté d'autre part. Nous développons un traitement quantique du

processus réactionnel en mettant en oeuvre une méthode SOM (Splitting Operator Method) associée à la FFT (Fast Fourier Transform) de résolution de l'équation de Schrödinger pour des puits tri-dimensionnels.

Nous avons successivement traité le cas d'un puits monodimensionnel puis bi-dimensionnel en utilisant une matrice de discrétisation cartésienne régulière. Les états propres d'un puits bi-dimensionnel ont pu être mis en évidence.

Le traitement du couplage entre l'électron et l'ion hydronium dans le cadre d'un puits 3D est en cours. Du fait de la symétrie particulière du problème étudié (propagation d'une onde sphérique, fonction d'onde électronique d'énergie $E^0 = 1.5\text{eV}$), nous avons choisi de passer de la représentation cartésienne régulière (associée à l'espace de Fourier) à la représentation sphérique associée à l'espace des fonctions de Legendre sur une quadrature gaussienne.

Parallèlement au traitement 3D de la paire radicalaire, nous nous appliquons à mettre au point un nouveau potentiel électron-eau permettant le traitement des transferts d'énergie mis en jeu lors de la réaction dissociative de la paire radicalaire ($\text{H}_3\text{O}^+ : e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}^\bullet$).

CHIMIE

Le calcul des polarisabilités et hyperpolarisabilités électroniques des atomes (première étape d'une étude de l'influence de l'hôte sur les propriétés électriques de verres dopés) est indispensable, vu le faible nombre de données expérimentales disponibles. Il se heurtait jusqu'ici à un obstacle conceptuel : les méthodes traditionnelles font appel à une projection des équations de perturbation, aux divers ordres, sur une base d'orbitales atomiques. Pour être complète, celle-ci devrait inclure les états discrets (en nombre infini) ainsi que ceux du continuum; excepté pour l'état $1s$ de l'atome d'hydrogène, cette démarche est impraticable et les résultats obtenus en se limitant à une base tronquée sont

erronés qu'ils n'autorisent même aucune analyse comparative au sein du tableau périodique.

Nous avons démontré qu'une intégration directe des équations de perturbation est possible, aux divers ordres, lorsqu'on part d'orbitales hydrogénoïdes ou d'orbitales de Slater (ces dernières incluant partiellement la corrélation électronique). Cette voie nouvelle fournit une valeur exacte, de référence-, des grandeurs électriques atomiques, mais aussi une règle précise gouvernant les O.A qu'il est indispensable d'introduire lorsqu'on opère selon les méthodes traditionnelles. L'application aux premières lignes du tableau périodique est en cours.

PHYSIQUE ATOMIQUE

Dans le cadre d'un contrat Européen avec le FOM d'Amsterdam, l'Université de Bruxelles et le CEA Saclay, nous avons étudié les atomes en champs brefs ultra-intenses. Ces investigations ont porté sur la multi-ionisation du Xénon par des impulsions de durée 100 fs à 620nm et dont l'intensité était au maximum de $2 \cdot 10^{14} \text{ W/cm}^2$. En principe, il faut que l'atome de Xénon absorbe sept photons à 620nm pour atteindre son continuum d'ionisation. Cependant, pour que ces absorptions multiphoniques puissent apparaître, il faut que les champs électromagnétiques incidents soient intenses. Ceci implique en parallèle des phénomènes d'ordre élevé tels que l'ionisation au-dessus du seuil (c'est-à-dire la possibilité pour l'atome d'absorber un ou plusieurs photons incidents en excès et donc d'engendrer toute une gamme d'électrons dont les énergies se différencient de l'énergie d'un photon) et la distorsion du spectre d'énergie de l'atome par effet Stark dynamique. Cette distorsion apparaît de façon importante sur le continuum d'ionisation dont l'énergie augmente d'une quantité appelée potentiel ponderomoteur. Ce potentiel n'est rien d'autre en fait que l'énergie d'oscillation de l'électron libre dans le champ électromagnétique intense. Bien que sa valeur soit importante ($3,4 \text{ eV}$ à 10^{14} W/cm^2 à

620nm) il n'avait jamais été observé avant 1988. La raison en était que les impulsions optiques utilisées jusqu'à présent étaient de durée trop longue, ce qui permettait à l'électron libre de sortir latéralement du faisceau optique. Or, en traversant ce gradient de champ, l'énergie d'oscillation était transférée à l'énergie de translation qui est la quantité que l'on mesure. La situation est bien différente avec des impulsions de 100fs car alors l'électron libre n'a pas le temps de sortir du faisceau laser avant que l'impulsion ne s'éteigne par l'arrière (et donc sans travail, car le gradient de champ est perpendiculaire à la translation de l'électron). On observe alors un spectre de photoélectrons décalé de ce potentiel pondéromoteur qui atteint des valeurs supérieures à 5 eV dans ce cas. Ceci signifie que des pics attendus de photoélectrons disparaissent et que tous les autres (on observe jusqu'à une dizaine) sont décalés de cette valeur.

Autre phénomène apparent, les pics de photoélectrons de plus basse énergie s'élargissent et font apparaître des sous-structures très marquées. Fait remarquable, en faisant varier la longueur d'onde des impulsions femtosecondes, on démontre que ce phénomène doit être attribué à un processus nouveau : celui d'une résonance transitoire avec des niveaux intermédiaires du Xénon se décalant de façon impulsive par effet Stark optique. Une analyse continue de ces structures nous a permis de les identifier à des résonances à 5 photons sur les niveaux p et d et de démontrer que pour ces niveaux, le déplacement Stark est pratiquement égal à celui du niveau d'ionisation.

PHYSIQUE DES LASERS INFRAROUGES

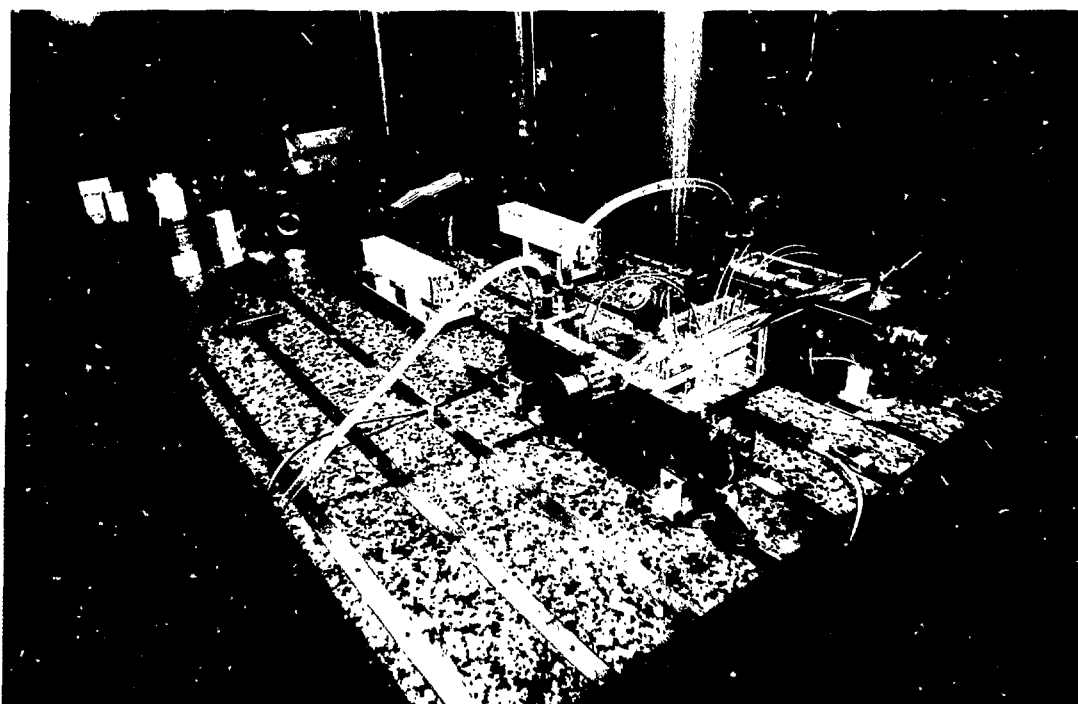
1 - Réseau cohérent de lasers à guide d'onde autofocalisant.

L'étude des réseaux de lasers à guide d'onde autofocalisant s'est poursuivie. Une modélisation nous a permis de déterminer théoriquement les caractéristiques des modes émis par l'ensemble du réseau et les conditions qui permettent d'obtenir l'oscillation d'un tel système sur le mode fondamental. Les résultats théoriques ont été parfaitement confirmés par l'expérience (Fig. 1) et la réalisation d'un grand réseau capable d'émettre une grande puissance a été entreprise.

L'étude théorique du couplage de plusieurs réseaux linéaires, dans le but de réaliser un réseau à deux dimensions, a été entreprise. Plusieurs solutions sont envisagées : il s'agit du couplage X, du couplage par filtrage spatial intra-cavités ou des cavités de Talbot. Ces solutions permettent de réaliser l'auto-injection des lumières circulant dans des cavités laser parallèles.

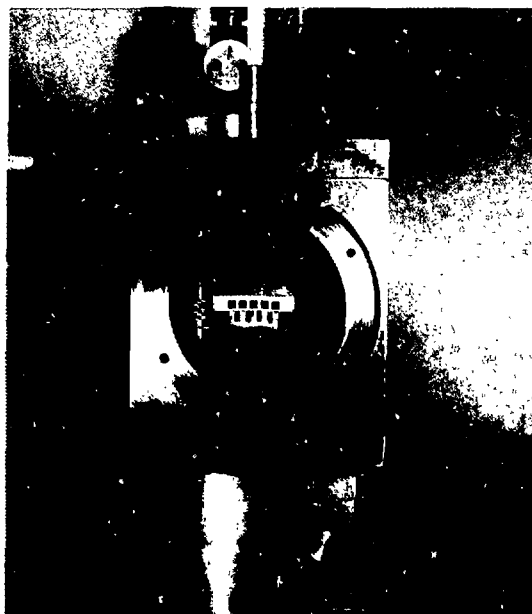
Cette étude se poursuit sur le plan expérimental en vue de confirmer les résultats théoriques obtenus dans le but de réaliser des lasers à CO₂ scellés, compacts et capables d'émettre de fortes puissances en lumière cohérente.

Les réseaux de lasers à guide d'onde autofocalisant étant excités par des décharges radio-fréquence induites à travers le diélectrique formant le guide d'onde, nous avons réalisé une étude complète de ce type d'excitation. Les résultats de cette étude théorique ont été confirmés par les résultats expérimentaux obtenus grâce à un laser mono-guide. L'expérimentation d'un dispositif à plusieurs guides nous permettra de raffiner le modèle utilisé et de confirmer la validité de la théorie mise en œuvre.

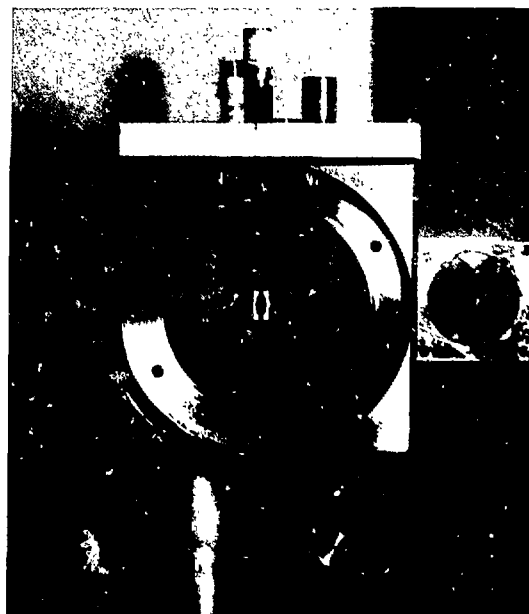


Expérimentation de lasers à CO₂ guide d'onde, stabilisés en fréquence par l'analyse de la dispersion de cavités de Fabry-Perot détectée par interférométrie hétérodyne.

LASERS À GUIDE D'ONDE EXCITES PAR DECHARGE RADIOFREQUENCE



A. Réseau de guides carrés



B. Guide d'onde autofocalisant

2 - LIDAR CO₂ cohérent pour la mesure de la vitesse du vent.

De nombreuses études sont consacrées aux dispositifs LIDAR susceptibles de mesurer par LIDAR Doppler la vitesse du vent dans la zone équatoriale. Ces dispositifs sont essentiellement constitués d'un émetteur de forte puissance et d'un ensemble de détection hétérodyne qui permet de mesurer le décalage de la fréquence de la lumière émise par l'émetteur et rétro-diffusée par les particules atmosphériques qui se déplacent à la vitesse du vent qui les entraîne.

Nous nous occupons principalement de l'étude de l'émetteur et des oscillateurs locaux mis en jeu dans les dispositifs de détection hétérodyne, ces éléments devant posséder une stabilité de fréquence comparable avec la précision que l'on souhaite sur la mesure de la vitesse du vent, soit 100 kHz pendant le temps de la mesure.

La solution choisie pour stabiliser en fréquence l'émetteur de puissance est la réalisation d'un laser dont un des miroirs est un miroir à conjugaison de phase réalisé dans le milieu amplificateur lui-même grâce à un laser CO₂ continu et stable en fréquence. Le laser de pompe et l'oscillateur local doivent être décalés en fréquence afin de permettre la mesure de la vitesse du vent en amplitude et en signe. Dans la solution que nous étudions, le laser de pompe est asservi en fréquence sur la résonance d'une cavité de Fabry-Pérot détectée par interférométrie hétérodyne. La fréquence du laser oscillateur local est asservie de manière à conserver un écart constant par rapport à la fréquence du laser de pompe grâce à un démodulateur FM qui analyse le battement des deux lasers et impose une valeur constante à la fréquence de ce battement.

Ces études, réalisées sous contrat CNES, s'effectuent en étroite collaboration avec la Société Anonyme des Télécommunications susceptible de réaliser les lasers nécessaires à l'expérience définitive et avec la société Crouzet qui étudie le système de traitement du signal de ce même projet.

3 - Impulsions brèves à 10,6µm.

Une technique originale nous a permis de réaliser un dispositif capable de convertir la lumière continue issue d'un laser de fréquence connue en train d'impulsions brèves. Ce dispositif est caractérisé par son efficacité (85%). Dans une première expérience, 8W continu ont été convertis en train d'impulsions de 2,5ns de large et 50W de puissance crête. La fréquence de ces impulsions est directement reliée à la fréquence du laser continu. Le dispositif est donc parfaitement susceptible d'être utilisé dans des systèmes de détection hétérodyne. Ce type d'application est actuellement prévu en collaboration avec l'ONERA-CERT.

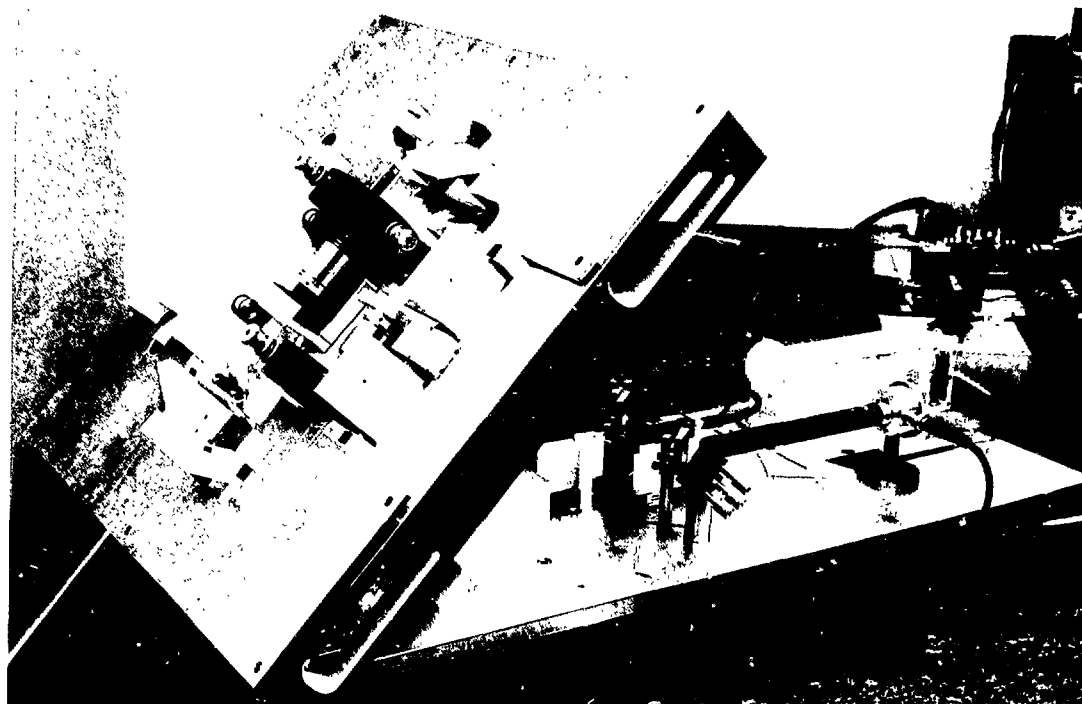
Des dispositifs basés sur le même principe et qui permettent de réaliser des impulsions plus courtes (0,6ns) et plus puissantes (1,5kW) à partir d'un laser continu de puissance modeste (qq Watts) est actuellement à l'étude.

4 - Laser à ammoniac à 12 µm pompé optiquement par laser à CO₂.

Le pompage optique de l'ammoniac par un laser à CO₂ permet d'obtenir des lasers émettant sur plus d'une centaine de raies entre 11 et 14µm. Une première étude a consisté à réaliser des lasers accordables en fréquence en décalant les niveaux de l'ammoniac par effet Stark. Nous étudions actuellement les phénomènes d'instabilité qui peuvent prendre naissance dans ces lasers. Suivant certaines conditions de pression et de pompage, on assiste à une modulation de l'intensité émise. Nous étudions actuellement, théoriquement et expérimentalement, l'origine physique de ces instabilités et travaillons à en donner une interprétation.

OPTIQUE GUIDÉE

Les activités fibres optiques ont été articulées autour de l'étude d'un gyromètre «tout fibre» à cavité résonante et ont donné lieu à :



Montage gyrométrique comportant :

- sur la partie horizontale : la source laser, les modulateurs acousto-optiques, les séparateurs permettant l'obtention de deux ondes contrapropagatives et les détecteurs;
- sur la partie inclinée : les optiques d'injection et de réception du signal lumineux dans la fibre optique, l'anneau comportant des contrôleurs de polarisation et une zone de couplage protégée par une enceinte thermostatée.

- des travaux expérimentaux sur les cavités résonantes à fibre optique.
- des modélisations des zones de couplage sur fibre optique.
- des études plus théoriques.

1- Gyromètre optique

L'expérience de gyrométrie «tout fibre» à cavité résonante a été poursuivie en collaboration avec la SAGEM. Actuellement, avec des périmètres de cavités compris entre 1,5 et 5 mètres, nous avons obtenu un facteur d'échelle d'environ 0,5 Hz/degré/heure, un biais de 170 Hz, une stabilité de biais de 150 degrés/heure.

Les travaux actuels concernent l'amélioration de ces performances. Pour cela une étude systématique des sources de bruit a été entreprise. Une

nouvelle méthode d'obtention et de traitement du signal est également en cours d'expérimentation.

2 - Modélisation B.P.M.

La méthode du faisceau propagé est utilisée pour calculer les pertes d'un coupleur directionnel constitué de deux fibres optiques séparées par un liquide d'indice. Le programme est implanté sur le C.R.A.Y. II et les modélisations graphiques sont réalisées en local avec un ordinateur SUN. On constate que le mode antisymétrique est unique et n'est pas affecté par la présence d'un liquide d'indice inséré entre les deux fibres. Les modes symétriques, par contre sont perturbés par la présence de cette couche de liquide d'indice. Pour certaines valeurs de cet indice, deux modes peuvent exister. Leur propaga-

tion donne lieu à un phénomène d'interférences périodiques en fonction de la longueur de propagation. L'étude, par transformée de Fourier, du champ propagé devrait permettre de séparer ces deux modes et de connaître ainsi les pertes résiduelles d'un coupleur parfait et des coupleurs réels utilisés.

3 - Etudes théoriques

Modes d'une fibre optique courbée

Les modes d'une fibre optique courbée ont été calculés analytiquement à l'aide d'un développement du premier ordre en fonction du rayon de courbure. L'approximation faible guidage à ensuite été effectuée. Une formulation variationnelle permet le calcul de la correction d'indice du second ordre. Dans le cas particulier du mode $L.P_{11}$, cette correction dépend de l'orientation des lobes du mode par rapport au plan de courbure.

Théorie des guides optiques

Nous poursuivons la rédaction et l'édition d'un traité d'optique guidée dont les premiers fascicules ont été préédités par l'E.N.S.T.A. Le tome II est paru.

4 - Antenne interférométrique à grande base.

Notre rôle dans le projet franco-italien VIRGO de construction d'un interféromètre à très grande base, consiste à modéliser toute la partie optique. Pour cela, nous avons mis au point un code de simulation de la propagation de la lumière dans des conditions paraxiales en vue de spécifier les tolérances sur les composants optiques. Nous avons également élaboré des modèles analytiques pour l'étude de l'échauffement de ces miroirs (par le faisceau laser) et de leur déformation thermo-élastique.

BIOMEDICAL

1- Spectroscopie des protéines du muscle

L'importance des ions Calcium dans le mécanisme de la contraction musculaire a été mise en évidence dès 1883. Le rôle des protéines, telles que la Calmoduline et la Troponine est démontré depuis la fin des années 50. La liaison du calcium à la protéine entraîne une déformation de cette dernière, ce qui autorise la liaison entre la myosine et l'actine et provoque alors la contraction du muscle. L'étude des changements de conformation de ces protéines doit permettre une évaluation directe de l'état du muscle.

L'analyse de la Troponine C et de la Calmoduline par spectroscopie d'absorption U.V., par fluorescence et par diffusion Raman, a déjà permis de caractériser ces protéines suivant leur concentration de calcium lié. L'installation de spectroscopie Raman U.V. a été adaptée pour son application à des échantillons de Calmoduline préparés au Laboratoire. Le but visé est l'analyse d'échantillons de muscles prélevés. Les mesures par diffusion Raman sont menées en parallèle avec celles par absorption U.V. La mesure par fluorescence sur des protéines marquées par des chromophores sera entreprise. Ces études sont entreprises en collaboration avec l'Albert Einstein Collège de New-york (USA).

2-Traitement informatisé des signaux biologiques

Les affections cardiovasculaires sont particulièrement fréquentes et graves dans les pays industrialisés, et la recherche médicale, dans le cadre de l'INSERM, se doit de développer des instruments de diagnostic et de dépistage dans ce domaine. Le coeur et les vaisseaux permettent la circulation du sang. L'analyse des mouvements des parois cardiaques et vasculaires, et l'analyse de l'onde de vitesse du sang dans les artères renseignent donc sur l'état du système cardio-vasculaire. Ces techniques reposent sur l'emploi de sondes émettrices-réceptives d'ultrasons. Il est ainsi possible de re-

cueillir les signaux hémodynamiques de façon totalement externe, atraumatique. Ces examens courants, dits «non-invasifs», sont le plus souvent analysés par le médecin de façon qualitative. Nous avons développé des logiciels permettant une analyse fine et quantitative des informations recueillies.

3 - Echocardiographie

La complexité des documents impose pour l'instant une digitalisation manuelle, assistée par ordinateur HP, des différentes parois de la cavité cardiaque ventriculaire gauche : bords droit et gauche du septum interventriculaire, bord endocardique et épiscardique de la paroi postérieure. Le système actuel fournit, à partir de ces données, une analyse fine de la cavité ventriculaire et des parois septale et postérieure en termes d'épaisseur, de vitesse et de temps. Ces différents paramètres sont étudiés durant la phase de contraction (systole) au cours de laquelle le cœur éjecte le sang dans l'aorte, et durant la phase de relaxation (diastole), lorsque la «pompe» cardiaque se remplit. Dans tous les cas, la reproductibilité inter- et intra- observateur est excellente (inférieure à 5%). Systole et diastole sont altérées de façon proportionnellement différente selon la

pathologie étudiée. Ce système a permis l'étude de maladies cardiaques liées à l'hypertension artérielle ou à des dilatations primitives chez des patients en attente de greffe cardiaque. De même, le rôle de médicaments (dobutamine, nifédipine) a été étudié.

4 - Doppler vasculaire

Le signal de vitesse est recueilli au niveau des artères humérale, carotide, radiale et fémorale chez le même sujet. L'acquisition et le traitement en temps réel permettent l'analyse, pour la première fois au niveau périphérique, de l'accélération et de la décélération du sang de façon routinière. L'étude porte actuellement 1- sur ces sujets hyperthyroïdiens avant et après traitement, 2- sur des sujets souffrant d'hypertension artérielle avant et après traitement. Notre but est de préciser si de nouveaux paramètres hémodynamiques pourraient être des marqueurs fiables de l'évolutivité de la maladie hypertensive et/ou des propriétés de distensibilité des différentes artères étudiées.

La caractérisation du signal en termes de vitesse et d'accélération, couplée à la mesure de la viscosité sanguine et de la compliance artérielle, devraient permettre de mieux comprendre la mécanique du fluide sanguin au niveau périphérique chez l'homme.

PUBLICATIONS

■ REVUES SCIENTIFIQUES

- P. WAZEN AND G. BOURDET
CWMIR optically pumped ammonia laser with large frequency tunability
Optics Comm., vol.71, 81, (1989).
- J.P. CHAMBARET, A. DOS SANTOS, G. HAMONIAUX, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Generations of MW tunable pulses of duration 90fs at 11kHz repetition rate : first experiments in the range 800-850nm
Opt. Comm., vol. 69, 401, (1989).
- R. HIERLE, J. BADAN, I. LEDOUX, J. ZYSS, A. MIGUS, D. HULIN AND A. ANTONETTI
Efficiency and time-response of three-wave mixing processes in organic crystal
in *Organic Material for Non Linear Optics*», Oxford Press, 1989
- G.R. BOYER AND M.A. FRANCO
Numerical and experimental comparison of spectral broadening of femtosecond asymmetric pulses in monomode fibers
Opt.Lett., vol.14, n° 9, 465-467, (1989).
- K. TAI, A. MYSYROWICZ, R.J. FISHER, R.E. SLUSHER AND A.Y. CHO
Two-Photon Absorption Spectroscopy in GaAs Quantum Wells
Phys.Rev.Lett., vol.62, 1784, (1989).
- M. JOFFRE, D. HULIN, A. MIGUS AND M. COMBESCOT
Laser-induced exciton splitting
Phys. Rev. Lett., vol. 62, 74-77, (1989).
- L.D. NOORDAM, J.W.J. VERSCHOOR, P. AGOSTINI, H.G. MULLER, A. ANTONETTI AND A. MIGUS
Absence of resonance in femtosecond-photoionization spectra
J. Phys. B, vol.22, 57, (1989).
- P. AGOSTINI, A. ANTONETTI, P. BREGER, M. CRANCE, A.MIGUS, H.G. MULLER, F. PETITE
Resonant multiphoton ionization of xenon with high intensity femtosecond pulses
J.Phys.B, vol.22, 1971, (1989).
- Y. GAUDUEL, S. POMMERET, N. YAMADA, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Femtosecond attachment of excess electron to water pool of ADT reversed micelles
J. Amer. Chem. Soc., vol.111, 4974, (1989).
- Y. GAUDUEL, S. POMMERET, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Femtosecond dynamics of generate pair recombination in pure liquid water
J. Phys. Chem., vol.93, 3880, (1989)
- J.W. PETRICH, AND J.L. MARTIN
Ultrafast absorption and Raman Spectroscopy of heme proteins
Chemical Physics, vol.131, 31, (1989).
- D. HULIN, M. JOFFRE, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Optical Stark Shift in Quantum Wells
in «Optical Switching in low-dimensional systems», ed.H. Haug and L. Banay, NATO ASI Series B: Physics vol.194, New-York-London, 1989, p.119
- N. PEYGHAMBARIAN, S. H. PARK, R.A. MORGAN, B. FLUEGEL, D. HULIN, M. JOFFRE, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Optical Nonlinearities and Femtosecond Dynamics of Quantum Confined CdSe Microcrystallites
in «Optical Switching in low-dimensional systems», ed.H. Haug and L. Banay, NATO ASI Series B: Physics vol.194, New-York-London, 1989, p.191

- Y. GAUDUEL, A. MIGUS, N. YAMADA, A. ANTONETTI
Femtosecond laser spectroscopy of reversed micelles
 in «Structure and Reactivity of reverse micelles»,
 ed. Pileni, Elsevier 1988, sous presse
- J. ETCHEPARE, G. GRILLON, J. ARABAT
Polarization effect in femtosecond time-resolved coherent scattering from molecule in liquids
 Applied Physics B 49, 425 (1989).
- N. PEYGHAMBARIAN, B. FLUEGEL, D. HULIN,
 A. MIGUS, M. JOFFRE, A. ANTONETTI, S.W. KOCH
 AND M. LINDBERG
Femtosecond Optical nonlinearities of CdSe «Quantum Dots»
 IEEE J. of Quantum Electron., 25, 2516, (1989).
- M. JOFFRE, D. HULIN, J.P. FOING,
 J.P. CHAMBARET, A. MIGUS AND A. ANTONETTI
Dynamics and Fourier Transform Studies of the Excitonic Optical Stark Effect
 IEEE J. of Quantum Electron. 25, 2505, (1989).
- P. AGOSTINI, P. BREGER, A. L'HUILLIER, H.G.
 MULLER; G. PETITE, A. ANTONETTI, A. MIGUS
Giant Stark shifts in multiphoton ionization of xenon
 Phys. Rev. Lett. 63, 2208 (1989).
- P. WAZEN, G. BOURDET
Experimental investigation of the MIR optically pumped ammonia bidirectional ring laser
 Appl. Phys. B 49 pp 377-381, (1989)
- P.M. FAUCHET, D. HULIN
Ultrafast carrier relaxation in hydrogenated amorphous silicon
 J. Opt. Soc. Am. B 6, 1024 (1989).
- B. FLUEGEL, M. JOFFRE, S.H. PARK, R. MORGAN,
 Y.Z. YU, M. LINDBERG, S.W. KOCH, D.
 HULIN, A. MIGUS, A. ANTONETTI, N. PEYGHAMBARIAN
Ultrafast optical nonlinearities in II-VI compounds
 Proceedings IV Int. Conf. on II-VI Compounds,
 Berlin, 17-22 septembre 1989.
- D. HULIN
Picosecond time-resolved luminescence in semiconductors
 Proc. VIth Soviet-French Symposium on time-resolved spectroscopy, Moscou (URSS), 146-153, 10-14
 octobre 1989.
- A. ANTONETTI, J.P. CHAMBARET, A. MIGUS, Y.
 GAUDUEL
Generation amplification and applications of tunable femtosecond light pulses
 Proc. VIth Soviet-French Symposium on time-resolved spectroscopy, Moscou (URSS), 123-128, 10-14
 octobre 1989.
- D. HULIN, M. JOFFRE, M. COMBESCOT, A.
 MIGUS, A. ANTONETTI
Excitonic optical nonlinearities induced by virtual absorption
 SPIE 1989, Paris.
- C. TANGUY, M. COMBESCOT
Dressed exciton versus dressed atom : the space dimension dependence
 Physical Review B 40, 18, (1989).
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS
Inotropic effect of kexamine on rat cardiac papillary muscle
 Anesthesiology, 1989, 71, 116-125.
- A.I.K. EL AMRANI, Y. LECARPENTIER, B. RIOU,
 M. CLERGUE, J.C. POURNY
Inotropic and lusitropic effects induced by alpha adrenergic stimulation in rat left ventricular papillary muscle
 J. of Mol. and Cell Cardiol., 1989, 21, 669-680.

- A-I.K. EL AMRANI, J.B. MICHEL, Y. LECARPENTIER
Effect of alpha adrenergic stimulation in rat myocardial infarction
 J. of Mol. and Cell Cardiol., 1989, 21 (suppl. III), 7.
- Y. LECARPENTIER, M. CLERGUE, B. RIOU, F. LAMBERT, D. CHEMLA
Contraction-relaxation coupling under low load during chronic pressure overload
 J. of Mol. Cell Cardiol., 1989, 21 (suppl. III), 16.
- H. LOTTMAN, J. ENGLENDER, R. ASTIER, D. CHOPIN, C. ABBOU, Y. LECARPENTIER
633nm laser light scattering for whole bladder photodynamic therapy : comparative study of two devices
 Laser in Medicine and Surgery, 1989,5, 117-121.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. BARRIOT, P. VIARS
Diazepam does not improve the mechanical performance of rat cardiac papillary muscle exposed to chloroquine in vitro
 Intensive Care Med., 1989, 15:390-395.
- D. CHEMLA, J. LEVENSON, P. VALENSI, Y. LECARPENTIER, J.C. POURNY, I. PITHOIS-MERLI, A. SIMON
Effect of beta-adrenoceptors and thyroid hormones on velocity and acceleration of peripheral arterial flow in hyperthyroidism
 American J. of Cardiology, 1989, 12-30, 499.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS
Effet inotrope de la kétamine sur le muscle papillaire cardiaque du rat in vitro
 Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation, 1989, 8, 17A-18A.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS
La kétamine altère les fonctions du réticulum sarcoplasmique du muscle papillaire cardiaque du rat»,
 Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation, 1989, 8, 18A-19A.
- B., RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS,
L'effet de l'étomidate sur la relaxation du myocarde de rat dépend souvent du solvant, propylène glycol ou éthanol
 Ann. Fr. Anesth. Réanim. 1989, 8, R23.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, V. TOFFIS, BARRIOT, F.J. BAUD, A. ASTIER, P. VIARS
Effets invitro de l'hydroxocobalamine après intoxication cyanhydrique
 Ann. Fr. Anesth. Réanim., 1989, 8, R241.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, D. CHEMLA, P. VIARS
Effets de l'étomidate sur les muscle papillaire cardiaque de rat in vitro
 Ann. Fr. Anesth. Réanim., 1989, 8, R24.
- H. LOTTMANN, J. ENGLENDER, R. ASTIER, D. CHOPIN, C. ABBOU, Y. LECARPENTIER
Evaluation expérimentale du mode d'irradiation pour la photochimiothérapie des tumeurs de vessie
 Innov. Tech. Biol. Med., 1989, 10, 4, 445-451.
- J. TIMSIT, B. RIOU, J. BERTERAT, C. WISNEWSKY, Y. LECARPENTIER, J.J. MERCADIER
Dissociation between intrinsic myocardial mechanics and isomyosin pattern during chronic growth hormone hypersecretion in the rat
 Circulation, 1989, 80, suppl. II, 297 (Abstr.).
- Y. LECARPENTIER, PH. HERVÉ, A. VILLENEUVE, P. LACROIX, DUROUX P.
Alterations of in vitro diaphragm function during chronic heart failure in rabbit
 Amer. Rev. of Respiratory Disease, 1989, 139-4, A162. (Abstr.).
- D. CHEMLA, A.M. DUVAL, J.C. POURNY, J.L. DUBOIS-RANDE, A. CASTAIGNE, Y. LECAR-

PENTIER

Coordinated changes of diastolic and systolic function in patients with dilated cardiomyopathy : an echocardiographic study
European Heart J., 1989, 10, 360. (Abstr.).

J.W. PETRICH, J.L. MARTIN

Picosecond and subpicosecond vibrational spectroscopy of heme proteins
in Advances in Spectroscopy, vol. 18, ed. by J.H. Clark, R.E. Hester, 1989, 335-367.

J.W. PETRICH, J. C. LAMBRY, C. POYART, M. KARPLUS, J.L. MARTIN

What controls ligand binding in heme proteins at room temperature
Biochemistry, 28, 1989.

J.L. MARTIN

Femtosecond biology
Ann. Rev. Biophys. Chem., 20, 1989, D.M. Engelmann ed., sous presse.

■ CONGRES

G. BOYER

Pulse minimization in single-mode fibers and compression
14th International workshop on guided wave optics, Aspenas (Suède), Septembre 1989 (conférence invitée).

L. DAME, G. BOURDET, ET AL

ASSI : An optimized fringe tracking stellar Interferometer
SPIE Conference on «Active Telescope System», Orlando (Fa, USA), Mars 1989.

G. BOURDET, G. MULLOT, J.Y. VINET

Phase coupled self focusing waveguide CO₂ lasers linear Array

CLEO 89 (WF 23), Baltimore (Md, USA), Avril 1989.

P. AGOSTINI, A. ANTONETTI, B. BREGER, M. CRANCE, A. MIGUS, H.G. MULLER, G. PETITE
Resonant multiphoton ionization with intense femtosecond pulses

Proc. XI School on Coherent Optics, Ustron (Pologne), septembre 1989, sous presse dans Acta Polonica.

P. AGOSTINI, A. ANTONETTI, B. BREGER, M. CRANCE, A. MIGUS, H.G. MULLER, G. PETITE
Resonant multiphoton ionization revisited with femtosecond pulses

Proc. IX International School on Coherent Optics, Uzhgorod (URSS), mai 1989.

P. AGOSTINI, A. ANTONETTI, B. BREGER, M. CRANCE, A. MIGUS, H.G. MULLER, G. PETITE
Ionisation multiphonique résonnante du xénon en impulsions ultracourtes : déplacements lumineux géants

colloque D, Sté. Fse. de Physique, Villeurbanne, 29 septembre 1989.

B. FLUEGEL, M. JOFFRE, S.H. PARK, R. MORGAN, Y.Z. YU, M. LINDBERG, S.W. KOCH, D. HULIN, A. MIGUS, A. ANTONETTI, N. PEYGHAMBARIAN

Ultrafast optical nonlinearities in II-VI compounds
IV Int. Conf. on II-VI Compounds, Berlin, 17-22 septembre 1989.

D. HULIN

Effet Stark optique dans les semiconducteurs
IPCMS, Strasbourg, 13 janvier 1989.

P.M. FAUCHET, D. HULIN, A. MOURCHID, C. TANGUY, R. VANDERHAGEN

Femtosecond spectroscopy in undoped amorphous hydrogenated silicon
1989 March Meeting of the A.P.S., St Louis (USA).

- D. HULIN, A. MOURCHID, C. TANGUY, P.M. FAUCHET, R. VANDERHAGEN
Ultrafast carrier relaxation in amorphous semiconductors
QELS'89, Baltimore (USA), 24-28 avril 1989.
- D. HULIN
Exciton splitting and dynamics of the optical Stark effect
Optical Sc. Center, Univ. of Arizona, Tucson (USA), mai 1989.
- A. ANTONETTI
La physique au ralenti avec les lasers femtosecondes et quelques applications
Conférence au Collège de France. Avril 1989.
- D. HULIN, M. JOFFRE, M. COMBESCOT, A. MIGUS, A. ANTONETTI
Excitonic optical nonlinearities induced by virtual absorption
Int. Congress on Optical Science and Engineering, Paris, 24-28 avril 1989. (Conférence invitée).
- M. JOFFRE, D. HULIN, J.P. FOING, J.P. CHAMBARET, A. MIGUS, A. ANTONETTI
Optical Stark effect in semiconductors
Gordon Conference, juillet 1989.
- D. HULIN
Excitonic nonlinearities induced by virtual absorption
Walter Schottky Lecture, Aachen Univ. of Technology (RFA), 10 mai 1989. (Conférence invitée).
- D. HULIN, M. JOFFRE, M. COMBESCOT, J.P. CHAMBARET, A. MIGUS, A. ANTONETTI,
Optical Stark effect in semiconductors
QELS'89, Baltimore (USA). (Conférence invitée).
- A. MOURCHID, R. VANDERHAGEN, D. HULIN, C. TANGUY, P.M. FAUCHET
Femtosecond optical spectroscopy in a-Si-H and its alloys
ICALS 13th, Ashville (USA), août 1989.
- P.M. FAUCHET, A. MOURCHID, D. HULIN, C. TANGUY, C. TANGUY, R. VANDERHAGEN
Extended state mobility in a -Si-H measured by femtosecond spectroscopy
ICALS 13th, Ashville (USA), août 1989.
- D. HULIN
Les lasers femtosecondes et leurs applications à la physique
IPCMS, Strasbourg, mai 1989.
- Y. LECARPENTIER, D. CHEMLA, M. CLERGUE, F. LAMBERT, A.I.K. EL AMRANI, B. RIOU
Inotropism of cardiac sarcomere studied by laser diffraction
International Congress of Biorheology, juin 1989, Nancy (France). (conférence invitée).
- A. ANTONETTI
Les femtosecondes et leurs applications potentielles dans l'industrie.
Conférence au SGDN. Mai 1989.
- Y. LECARPENTIER, M. CLERGUE, B. RIOU, F. LAMBERT, D. CHEMLA
Contraction-relaxation coupling under low load during chronic pressure overload in rats and guinea pigs
Symposium on Basic Research on Hypertensive Heart, 17-19 juillet 1989, Jouy-en-Josas (France). (conférence invitée).
- Y. LECARPENTIER
Relaxation in left ventricular hypertrophy
colloque Données Biochimiques et Cliniques dans l'Hypertrophie Ventriculaire Gauche du Cœur Hypertendu, 5-6 octobre 1989, Villeneuve-lez-Avignon. (conférence invitée).
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS

- Effet inotrope positif de la kétamine sur le muscle papillaire cardiaque du rat in vitro*
Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, 27-28 janvier 1989, Grenoble.
- A-I.K. EL AMRANI, J.B. MICHEL, Y. LECARPENTIER
Effect on alpha adrenergic stimulation in rat myocardial infraction
Symposium on Basic Researches on Hypertensive Heart, 17-19 juillet 1989, Jouy-en-Josas (France).
- Y. LECARPENTIER, C.C. TRAN, D. CHEMLA, M. CLERGUE, F. LAMBERT, F. PAILLARD, P. QUANDIEU
Mécanique de la contraction et relaxation des muscles papillaires ventriculaires de primates centrifuges et de primates non centrifuges
Médecine Aérospatiale, Association des Physiologistes, Lyon 1989.
- Y. LECARPENTIER, C.C. TRAN, D. CHEMLA, M. CLERGUE, F. LAMBERT, F. PAILLARD, P. QUANDIEU
Mechanics of contraction and relaxation in papillary muscles of healthy and centrifugates baboons
11th annual meeting «IUPS Commission on Gravitational Physiology», 24-27 septembre 1989, Lyon (France).
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, D. CHEMLA, P. VIARS
In vitro effects of etomidate on rat cardiac papillary muscle
American Society of Anesthesiology (ASA), 1989, New-Orleans.
- J. ENGLENDER, D. FAYOUX, R. ASTIER, J. PERENNEC, Y. LECARPENTIER
Interaction in vitro avec des tissus calcifiés des impulsions laser Nd-YAG 1064nm et 60ns, et leur transmission dans les fibres optiques souples
Villème Congrès National de la Société Française des Lasers Médicaux, 24-27 avril 1989, Nîmes (France).
- Y. LECARPENTIER, PH. HERVÉ, A. VILLENEUVE, P. LACROIX, P. DUROUX
Alterations of in vitro diaphragm function during chronic heart failure in rabbit
American Thoracic Society, avril 1989, Cincinnati (USA).
- Y. LECARPENTIER, C.C. TRAN, D. CHEMLA, M. CLERGUE, F. LAMBERT, F. PAILLARD, P. QUANDIEU
Mécanique de la contraction et relaxation des muscles papillaires ventriculaires de primates centrifuges et de primates non centrifuges
Médecine Aérospatiale, Association des Physiologistes, Lyon 1989.
- D. CHEMLA, A.M. DUVAL, J.C. POURNY, J.L. DUBOIS-RANDE, A. CASTAIGNE, Y. LECARPENTIER
Coordinated changes of diastolic and systolic function in patients with dilated cardiomyopathy : an echocardiographic study
European Congress of Cardiology, Nice 1989.
- Y. LECARPENTIER, P. HERVÉ, D. CHEMLA, P. DUROUX
Altérations de la contraction et de la relaxation du diaphragme au cours de l'insuffisance cardiaque congestive
Journée de la Recherche, CHU Kremlin-Bicêtre, novembre 1989.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, D. CHEMLA, P. VIARS
Effets de l'étomidate sur le muscle papillaire cardiaque de rat in vitro
XXXIème congrès de la Sté. Française d'Anesthésie et de Réanimation, Paris 1989.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, V. TOFFIS, P. BARRIOT, F.J. BAUD, R. ASTIER, P. VIARS
Effets in vitro de l'hydroxocobalamine après intoxication cyanhydrique
XXXIème congrès de la Sté. Française d'Anesthésie et de Réanimation, Paris 1989.
- B. RIOU, Y. LECARPENTIER, P. VIARS
L'effet de l'étomidate sur la relaxation du myocarde de rat dépend du solvant, propylène glycol ou éthanol

XXXIème congrès de la Sté. Française d'Anesthésie et de Réanimation, Paris 1989.

J. TIMSIT, B. RIOU, J. BERTHERAT, C. WINEWSKY, Y. LECARPENTIER, J.J. MERCADIER
Dissociation between intrinsic myocardial mechanics and isomyosins pattern during chronic growth hormone hypersecretion in the rat
American Heart Association, New Orleans 1989.

Y. LECARPENTIER, C.C. TRAN, D. CHEMLA, M. CLERGUE, F. LAMBERT, F. PAILLARD, P. QUANDIEU
Mechanics of contraction and relaxation in papillary muscles of healthy and centrifugated baboons
11th annual meeting IUPS commission on Gravitational Physiology, Lyon 1989.

J.L. MARTIN, J.W. PETRICH, J.C. LAMBRY, M. NÈGRERIE, C. POYART
Time-resolved resonance Raman spectroscopy of hemoglobin in a subpicosecond-time scale

in «Time-resolved vibrational Spectroscopy Conference, Princeton N.J. (USA) , juin 1989 (conférence invitée).

J.L. MARTIN, J. BRETON, J.C. LAMBRY
Femtosecond spectroscopy of charge separation in bacterial reactive center
American Chemical Society Meeting, Miami (USA), septembre 1989 (conférence invitée).

J.L. MARTIN, J.C. LAMBRY, J. BRETON, W.R. FLEMING
Ultrafast electron transfer
International Conference on Energy and Electron Transfer, Prague (Tchécoslovaquie), août 1989 (conférence invitée).

J.L. MARTIN
Time-resolved Raman spectroscopy of hemoglobin with femtosecond resolution
Hemoglobin Symposium, Bruxelles, septembre 1989 (conférence invitée).

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)

Ecole Polytechnique - Palaiseau - Tél. : 33 (1) 69 41 82 00

LOA - Batterie de l'Yvette - 91120 Palaiseau Cedex
Tél. (33)(1) 60 10 03 18 - Télex 601.596 F - Télécopieur 60.10.60.85