



Laboratoire de mécanique et d'acoustique. Rapport d'activité années 1987 à 1990

- Laboratoire de Mécanique Et d'Acoustique

► To cite this version:

- Laboratoire de Mécanique Et d'Acoustique. Laboratoire de mécanique et d'acoustique. Rapport d'activité années 1987 à 1990. [Rapport de recherche] LMA. 1990, 307 p. <hal-01548297>

HAL Id: hal-01548297

<https://hal.science/hal-01548297v1>

Submitted on 27 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



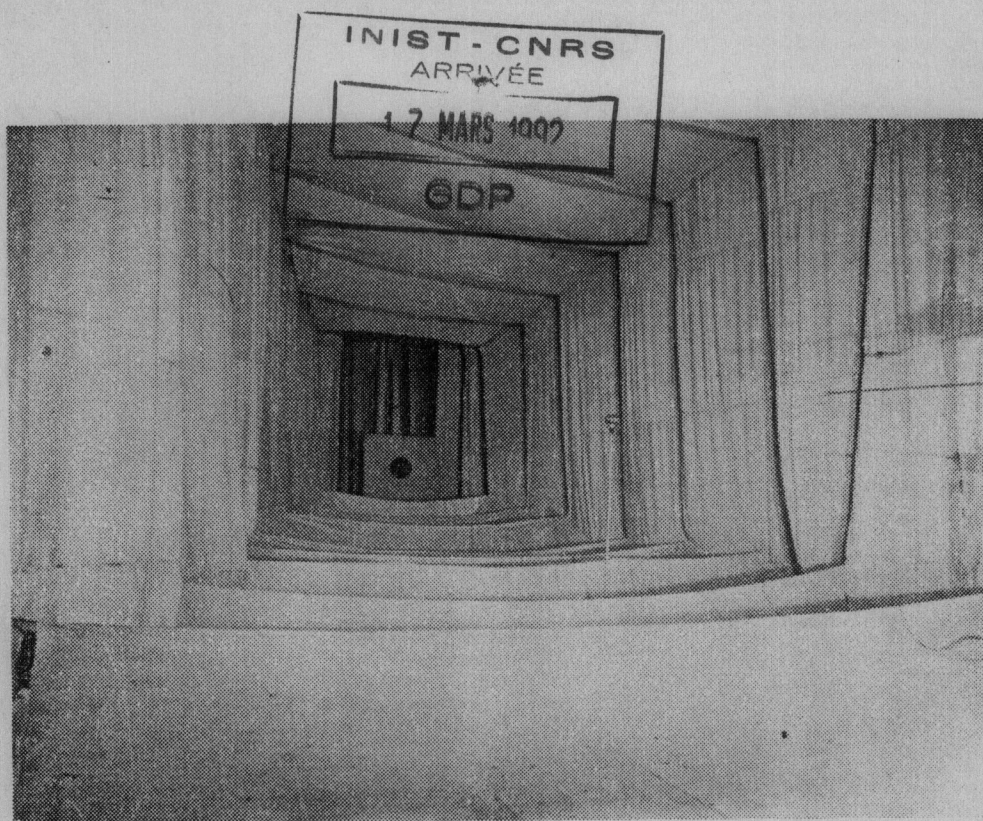
HAL Authorization

22 473
LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE

MARSEILLE

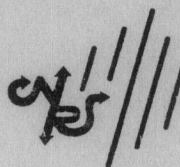
PHYS
MEC
RAPPORT D'ACTIVITE

ANNEES 1987 A 1990



Publication L.M.A. N° 133

ISSN 0750-7356



G 82357

Illustration de la couverture : Chambre sourde du C.R.S.I.M. - 1957

ISSN 0750-7356

**LABORATOIRE
DE MECANIQUE
ET D'ACOUSTIQUE**

31 Chemin Joseph-Aiguier
13402 MARSEILLE Cédex 09
Téléphone : 91.16.40.07
Télécopie : 91.22.08.75
Télex : 430 225 F CNRSMAR

*Publication référencée
dans la base PASCAL
de l'INIST.*

**RAPPORT D'ACTIVITE
ANNEES 1987 A 1990**

UPR 7051
Secteur Scientifique : S.P.I.
Nlle. Section Cté. Nat. : 09
Délégation Régionale : P.A.C.A.C.

Directeur : C.GAZANHES
Directeur Adj. : R.BOUC
Secrétaire Gale : M^{me} S.AVENI

RAPPORT D'ACTIVITE ANNEES 1987-1990

TABLE DES MATIERES

I. PRESENTATION DE LA FORMATION

I.1 Composition du Comité Scientifique	5
I.2 Composition du Conseil de Laboratoire	7
I.3 Organigramme du L.M.A.	9

II. EXPOSES DES RESULTATS DES RECHERCHES 1987 A 90

A. MECANIQUE DES MATERIAUX & MODELISATION NUMERIQUE	17
Equipe Matériaux et Structures Hétérogènes	19
Equipe Mécanique et Méthodes Numériques	31
Equipe Matériaux et Propagation	45
B. IMAGERIE ET CARACTERISATION DES MATERIAUX	57
Equipe Imagerie Thermique et Acoustique Quantitative	59
C. CONTROLE ACTIF VIBRO-ACOUSTIQUE & DYNAMIQUE DES VIBRATIONS	69
Equipe Absorption Active Adaptative	71
Equipe Dynamique des structures	81
D. ONDES ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE ; INTERACTION FLUIDE-STRUCTURES VIBRANTES	101
Equipe Propagation Acoustique et Protection de l'Environnement.	103
E. ACOUSTIQUE SOUS-MARINE & ULTRASONS	125
Equipe Acoustique Sous-Marine et Ultrasons	127

F. PSYCHOACOUSTIQUE & INFORMATIQUE MUSICALE	149
Equipe Informatique Musicale	151
Equipe Environnement Acoustique & Perception	169
G. GROUPE DE RECHERCHE EN RELATION AVEC L'I.M.T.	
Equipe Modèles Numériques	179
H. GROUPE D'ETUDES PLURIDISCIPLINAIRES EN IMPLANTOLOGIE	205
I. D.E.A. D'ACOUSTIQUE ET DYNAMIQUE DES VIBRATIONS	211
J. CENTRE DE CALCUL	219
Equipe Archimède	221

III. LISTE DES PUBLICATIONS PARUES AU COURS DES ANNEES 1987 A 1990

III.1 Publi. dans des revues spécialisées à Comité de Lecture	227
III.2 Ouvrages de synthèse	233
III.3 Publications de conférences à des colloques avec actes	237
III.4 Publi. de conf. à des colloques sans actes ou à dif. restreinte	249
III.5 Thèses soutenues	257
III.6 Brevets	259
III.7 Rapports de fin de contrats	261
III.8 Notes ou rapports internes	279
III.9 Autres manifestations sans actes (séminaires)	289
III.10 Séminaires L.M.A.	297
III.11 Diffusion de la connais. dans le milieu socio-économique	305

I. PRESENTATION DE LA FORMATION

I.1 COMPOSITION DU COMITE SCIENTIFIQUE

- M. J.Claude CHARPENTIER Directeur Scientifique du
Département des Sciences pour
l'Ingénieur du C.N.R.S.
- M. André ROUQUIE Délégué Régional de la Région
P.A.C.A.C. du C.N.R.S.
- M. Claude GAZANHES Directeur du Laboratoire de
Mécanique et d'Acoustique
- M. Robert BOUC Directeur Adjoint du Laboratoire de
Mécanique et d'Acoustique

Représentants de la Section 10 du Comité National

- M. Michel FREMOND Professeur au Laboratoire Central des
Ponts et Chaussées
- M. Bernard TOCQUET Directeur de Recherche Thomson-
Sintra

Membres nommés par le Directeur Général du C.N.R.S.

- M. Fernand d'AMBRA Chargé de Mission, Aérospatiale,
Direction du Développement,
Division Hélicoptères
- M. Pierre-Yves ARQUES Professeur à l'Université de Rennes I,
Directeur Scientifique du GERDSM -
Le Brusc
- M. Eric de BAZELAIRE Ingénieur, Société Nationale Elf-
Aquitaine, Recherches sismiques
- M. Michel BRUNEAU Directeur du Laboratoire
d'Acoustique de l'Université du
Maine
- M. Bernard FAVRE Responsable des Secteurs
Programme-Acoustique, Confort-
Ergonomie. Direction de la
Recherche, Régie Renault

- M. Paul GERMAIN Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences
- M. Emil HOPFINGER Directeur de Recherche à l'Institut de Mécanique de Grenoble
- M. Murat KUNT Professeur à l'Ecole Polytechnique de Lausanne
- M. Pierre LADEVEZE Professeur à l'Ecole Normale Supérieure, Directeur du G.R.E.C.O. "Calcul des Structures"
- M. Yves RICHARD Président, Aérospatiale, Directeur du Développement, Division Hélicoptères
- M. Marcel SABATON Chef du Département d'Acoustique et de Mécanique des Vibrations, Direction des Etudes et Recherches EDF

Membres élus par le Conseil de Laboratoire

- M. Patrick CHABRAND Chargé de Recherche
- M. J. Pierre LEFEBVRE Chargé de Recherche
- M. Jean LEANDRE Ingénieur d'Etudes

Membres invités

- M. Philippe GATIGNOL Professeur à l'Université de Compiègne
- M. Bernard NAYROLES Directeur de Recherche au C.N.R.S.
- M. J. Laurent PEUBE Professeur à l'Université de Poitiers.
- M^{me} Josette ROGER Adjoint au Directeur Scientifique du S.P.I.
- M^{me} Magali ROUX Chargé de Mission Industrie au C.N.R.S.
- M. Serge SARRAZIN Chargé de mission au S.P.I.
- M. Philippe ZANIN Conseiller technique au Conseil Régional P.A.C.A.

I.2 COMPOSITION DU CONSEIL DE LABORATOIRE

M.	Patrick CHABRAND	CR1
M ^{me}	Martine CULIOLI	IE1
M.	Olivier DEBORDES	Professeur
M.	Paul FILIPPI	DR2
M.	Philippe GUILLEMAIN	Etudiant 3 ^{ème} cycle
M.	Richard KRONLAND	CR1
M.	Jean LEANDRE	IE1
M.	J.Pierre LEFEBVRE	CR1
M.	Paul LUCET	IR1
M.	Bernard SCANDELLARI	IR2

M.	Claude GAZANHES	Directeur du L.M.A.
M.	Robert BOUC	Directeur Adjoint du L.M.A.
M ^{me}	Solange AVENI	AAR1 (Membre invité)

LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE MARSEILLE

DIRECTION

Directeur : C.GAZANHES

Directeur Adj. : R.BOUC

Secrétaire Générale : Mme AVENI

CENTRE DE
CALCUL

SERVICES
TECHNIQUES

ADMINISTRATION

RELATIONS
EXTERIEURES

DOCUMENTATION

ACTIVITES DE RECHERCHE

MECANIQUE DES MATERIAUX & MODELISATION NUMERIQUE	CONTROLE ACTIF VIBRO- ACOUSTIQUE & DYNAMIQUE DES VIBRATIONS	ONDES ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE; INTERACTION FLUIDE- STRUCTURES VIBRANTES	ACOUSTIQUE SOUS-MARINE & ULTRASONS	PSYCHO- ACOUSTIQUE & INFORMATIQUE MUSICALE	GROUPE DE RECHERCHE EN RELATION AVEC L'I.M.T. M.N O.V.M.
M.E.S.H. M.M.N MATEP	A3 D.S	P.A.P.E.	U.S.	E.A.P I.M.	GROUPE D'ETUDES PLURIDISCIPLINAIRES EN IMPLANTOLOGIE

ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

FORMATIONS DOCTORALES

- D.E.A. de Mécanique
- Filière Acoustique et Dynamique des Vibrations
- Filière Mécanique des Solides
- D.E.A. de Mathématiques Appliquées
- Thèses de l'Université

MECANIQUE DES MATERIAUX & MODELISATION NUMERIQUE

EQUIPE MATERIAUX ET STRUCTURES HETEROGENES (P.Suquet)

- O.R. : Matériaux et Scanner X
- O.R. : Matériaux et structures hétérogènes

EQUIPE MECANIQUE ET METHODES NUMERIQUES (M.Raous)

- O.R. : Frottement et contacts unilatéraux
- O.R. : Grandes déformations, plasticité, viscoplasticité
- O.R. : Méthodes numériques pour les grands systèmes

EQUIPE MATERIAUX ET PROPAGATION (R.Blanc)

- O.R. : Comportement thermoviscoélastique et dynamique des matériaux
- O.R. : Mécanique expérimentale

CONTROLE ACTIF VIBROACOUSTIQUE & DYNAMIQUE DES VIBRATIONS

EQUIPE ABSORPTION ACTIVE ADAPTATIVE (R.Bouc)

- O.R. : Contrôle actif : bruits et vibrations

EQUIPE DYNAMIQUE DES STRUCTURES (G.Delfosse)

- O.R. : Dynamique des structures et amortissement à basse fréquence

**ONDES ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE ;
INTERACTION
FLUIDE-STRUCTURES VIBRANTES**

**EQUIPE PROPAGATION ACOUSTIQUE ET PROTECTION DE
L'ENVIRONNEMENT (D.Habault)**

- O.R. : Propagation d'ondes dans les milieux fluides et solides
- O.R. : Rayonnement acoustique des structures et modélisation des sources de bruits
- O.R. : Imagerie acoustique

**ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
&
ULTRASONS**

EQUIPE ULTRASONS (J.P.Sessarego)

- O.R. : Structure d'échos et sondage acoustique

EQUIPE ACOUSTIQUE SOUS-MARINE (C.Gazanhes)

- O.R. : Propagation en milieu marin et modèles géoacoustiques

**PSYCHOACOUSTIQUE
&
INFORMATIQUE MUSICALE**

EQUIPE INFORMATIQUE MUSICALE (J.C. Risset)

- O.R. : Informatique musicale : synthèse, temps réel, ondelettes
- O.R. : Psychoacoustique musicale

**EQUIPE ENVIRONNEMENT ACOUSTIQUE ET PERCEPTION
(G.Canevet)**

- O.R. : Coloration en acoustique des salles
- O.R. : Analyse des fonctions auditives

**GROUPE DE RECHERCHE
EN COLLABORATION
AVEC L'I.M.T.**

EQUIPE MODELES NUMERIQUES (O.Debordes)

- O.R. : Modélisation macro et micro des matériaux et structures
- O.R. : Structures élastomère-métal

EQUIPE ONDES ET VIBRATIONS MECANQUES (V.Martin)

- O.R. : Modélisation numérique de la propagation d'ondes élastiques

**GROUPE D'ETUDES
PLURIDISCIPLINAIRES
EN IMPLANTOLOGIE
(W.BISMUTH)**

***A. MECANIQUE DES MATERIAUX &
MODELISATION NUMERIQUE***

Equipe Matériaux et Structures Hétérogènes (M.E.S.H.)

Responsable : P.SUQUET

Orientation Générale

L'équipe MESH a été créée en janvier 1991. Ses travaux sont principalement orientés vers l'observation, la compréhension et la modélisation du comportement des matériaux lorsqu'une de leur caractéristique essentielle est l'hétérogénéité. La notion d'hétérogénéité est d'ailleurs indissociable de celle d'échelle pertinente pour l'analyse mécanique, puisqu'un matériau pourra être considéré sans équivoque comme homogène à l'échelle d'une structure, tandis que la compréhension de son comportement local nécessitera la prise en compte de son hétérogénéité. Tel est le cas des composites, mais également du bois, du béton et de quantité d'autres matériaux.

Sur le plan théorique ce sont les méthodes de "micro-mécanique", terme mieux adapté aux études actuelles que celui, plus ancien, "d'homogénéisation", qui sont développées, sans a priori sur la géométrie de la micro-structure des matériaux, bien que les milieux périodiques aient historiquement joué un grand rôle dans notre approche de bon nombre des problèmes actuels. Dans les 4 dernières années nous avons cherché à comprendre et à situer par rapport à nos propres modèles, différents schémas micro-mécaniques déjà anciens (auto-cohérent, différentiel, Mori-Tanaka) ou plus récents (le "3 phases" est à l'étude).

Nos travaux récents concernent essentiellement la plasticité des composites et l'endommagement des matériaux ductiles par croissance de cavités. Mais tous les problèmes linéaires sont loin d'être complètement résolus, ce qui explique certaines de nos explorations récentes de ces problèmes, à la lueur d'idées nouvelles, pour dégager des méthodes simplifiées de calcul pour des géométries tri-dimensionnelles.

Les techniques numériques (éléments finis dans le domaine non linéaire) sont largement utilisées et l'arrivée de Jean-Claude Michel nous ouvre des perspectives dans ce domaine.

La part accordée aux techniques mathématiques, bien que décroissante par rapport à notre activité passée, demeure significative travaux communs avec G. Bouchitte (Université de Toulon) et suivi des approches mathématiques actuelles des problèmes de micro-mécanique. Ces résultats rigoureux sont indispensables pour mieux cerner la portée de certains raisonnements heuristiques et apprécier les limites de telle ou telle théorie.

Les études expérimentales menées dans l'équipe font une large part au scanner à rayons X installé depuis quelques années au LMA. Cet appareil permet la détection de défauts ou la mesure de variations de densité volumique, modulo un étalonnage préalable. Son intérêt en contrôle non destructif est manifeste. Il a d'ailleurs été bien compris par certaines sociétés qui nous demandent de valider leurs procédés d'élaboration sur des pièces prototypes à l'aide du scanner.

Nous espérons faire prochainement la preuve qu'il peut être également un instrument de mesure permettant d'accéder en cours d'expérience aux variations de densité subies dans son volume par une éprouvette déformée (endommagement, localisation de la déformation). Depuis quelques années un travail de fond a été entrepris sur les géo-matériaux, en relation avec le Laboratoire de Géologie Structurale et Appliquée de Marseille et avec l'équipe de J. Desrues à l'IMG de Grenoble. Ce travail et ces collaborations ont débouché sur la réalisation d'une cellule d'essais triaxiale sous scanner, actuellement en cours de mise au point. Une bonne partie de notre programme de recherches expérimentales pour les années à venir repose sur l'exploitation de cette cellule.

Pour assurer une bonne cohérence entre les deux opérations de recherche nous avons lancé au printemps 91 des études de modélisation micro-mécanique sur des matériaux fragiles (bétons). L'endommagement des composites, vu aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental, devrait connaître également un développement significatif dans notre équipe au cours des prochaines années.

Sur le plan de l'enseignement, nous assurons des enseignements en Maîtrise de Mécanique (Tenue des Structures), en DEA "Acoustique et dynamique des vibrations" (responsabilité de l'option "Vibrations, matériaux et structures") et dans la Majeure "Science des matériaux" de l'Ecole Polytechnique (approfondissement "matériaux composites"). Nous avons participé à l'élaboration du futur DEA de Mécanique de Marseille dans lequel une filière "Mécanique des Solides" est prévue, associant des équipes du LMA, de l'IMT et de l'ENSAM.

Activités de recherche

OR 54

Matériaux et Structures Hétérogènes

P.Guillemain (pour 90-91), A.Lidouh (depuis le 01-10-89), J.C.Michel (depuis le 01-10-90), J.M.Rossi (depuis le 01-12-90), P.Suquet.

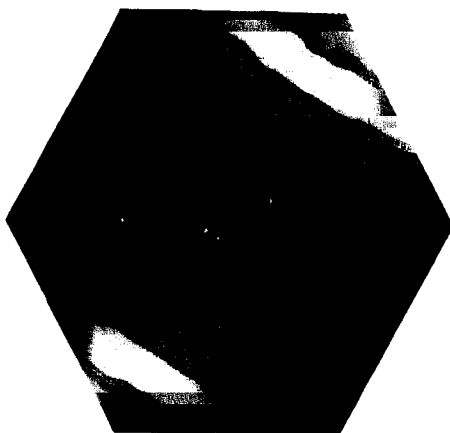
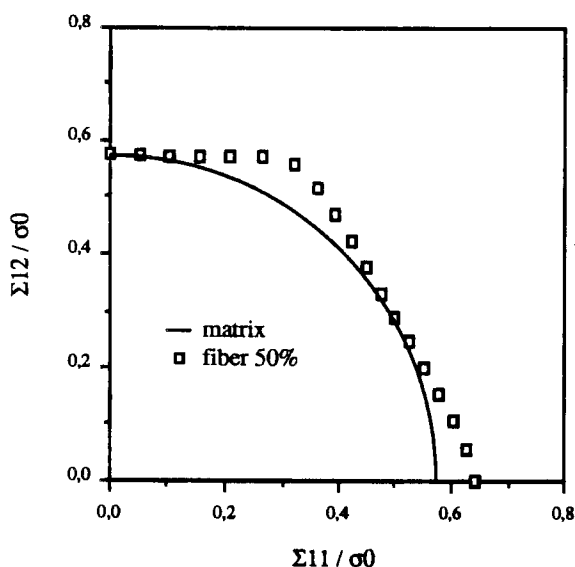
Nos travaux dans ce domaine concernent essentiellement la micro-mécanique et la prévision du comportement de matériaux présentant un caractère hétérogène (composites). Des résultats ont été obtenus en 1990 dans deux directions méthodes de calcul simplifiées et endommagement des matériaux viscoplastiques.

A la suite de la thèse de R. Peyroux (détaillée ci dessous), où nous avons pu constater la lourdeur et parfois un manque de fiabilité des méthodes d'éléments finis 3-dim pour les calculs de coefficients homogénéisés, nous nous sommes intéressés à des méthodes simplifiées de prévision de ces coefficients. Dans le cas des milieux périodiques où l'opérateur de Green du problème est connu exactement par son développement en série de Fourier, une approximation sur la déformation d'une des phases (déformation approximativement constante, comme le suggère le résultat classique d'Eshelby pour une inclusion ellipsoïdale en milieu infini) conduit à une résolution simple de l'équation de Lippman-Schwinger du problème. De façon surprenante, la théorie approchée ainsi obtenue possède une interprétation variationnelle et conduit à une estimation par défaut (lorsque les inclusions sont plus raides que la matrice) ou par excès (dans le cas contraire) des coefficients exacts. Dans certaines situations on a pu obtenir des encadrements des propriétés exactes avec une précision suffisante pour que cette méthode approchée soit équivalente en précision aux méthodes d'éléments finis (avec un gain de temps de 100 pour les problèmes 3d). Le résultat obtenu est, dans le cas périodique, l'analogue d'un résultat plus ancien de J. Willis pour des géométries quelconques (le nôtre étant plus précis que celui de Willis dans le cas des milieux périodiques).

Le recrutement de J.C.Michel en Octobre 1990 a eu l'effet vivifiant espéré. Un travail sur le comportement des matériaux poreux viscoplastiques a pu être mené à bien en quelques mois (J. Michel et P. Suquet) avec des avancées précises établissement de bornes rigoureuses sur le comportement non linéaire de matériaux poreux suivant une loi de Norton (des bornes identiques ont été établies par des arguments très différents par Ponte Castaneda et Willis), proposition d'une loi de comportement explicite sur la base d'un schéma auto-cohérent non linéaire (pour l'un des coefficients de cette loi) et d'un schéma différentiel. Cette loi a été implantée dans le code

de calculs SIC (origine G. Touzot à Compiègne) dans lequel diverses lois d'endommagement couplées au comportement, obtenues par analyse micro-mécanique, sont en cours de développement. Une application inattendue à la mise en forme des céramiques, présentant un comportement viscoplastique à chaud, a été donnée.

Des modules d'homogénéisation non linéaire ont été développés dans le même code de calculs SIC, pour certains à l'IMT avec O. Debordes, pour d'autres au LMA. A titre d'exemple, les déformations planes généralisées, indispensables pour le traitement correct des composites unidirectionnels dans le domaine non linéaire, ont été implantées. Un exemple de domaine de plasticité ultime pour un composite fibres longues et matrice métallique est donné sur la figure jointe. On y voit le faible gain apporté par le renfort dans ce cas particulier en raison de la possibilité de plans de cisaillement dans la matrice. On a ainsi mis en évidence une fraction volumique critique, liée à l'existence de ces plans de cisaillement, au delà de laquelle il faut se placer pour obtenir un effet appréciable de renforcement macroscopique.



Surface de plasticité dans le plan des déviateurs - Mode d'écoulement microscopique

Figure 1 Composite à matrice métallique. Fibres longues élastiques. Matrice Aluminium.

En relation avec le thème "micro-mécanique", deux thèses encadrées par P. Suquet ont été soutenues en 1990 à Montpellier et deux thèses sont actuellement en cours à Marseille.

La thèse de R. Peyroux (Mai 1990), financée par Renault (Regienov) dans le cadre d'une BDI, a porté sur la prévision des propriétés thermo-élastiques de composites à fibres courtes. Différents schémas ont été étudiés schéma auto-cohérent, modèle de Mori-Tanaka, milieux périodiques (étude complète et simplifiée). La dispersion de l'orientation et de l'élancement des fibres a pu être prise en compte par des moyennes appropriées. Un logiciel simple de prévision a été écrit et implanté chez Renault. Cette étude nous a familiarisés avec le schéma auto-cohérent qui a donné des résultats comparables à ceux du schéma périodique dans la gamme des fractions volumiques de renfort considérées (inférieures à 25%), nous a permis de démystifier le modèle de Mori-Tanaka (à nos yeux il s'agit essentiellement de bornes d'Hashin & Shtrikman) et nous a incité à développer des méthodes simplifiées de calcul pour les milieux périodiques (voir au dessus).

La thèse de D. Liao (Mai 1990, co-encadrée par C.Licht) a porté sur l'endommagement de composites stratifiés délaminés sollicités en compression. Le cloquage des zones délaminées est habituellement traité par une théorie de plaques assemblées, négligeant ainsi le caractère multi-axial des contraintes en pointe de délaminage. Il a été abordé dans la thèse de D.Liao comme un problème d'élasticité non linéaire dans l'épaisseur du stratifié (délaminages traversants). Une méthode de Lagrangien augmenté (inspirée des travaux de Le Tallec) a été comparée à une méthode de Newton plus classique pour la résolution de ce problème d'élasticité non linéaire (avantage pour le Lagrangien augmenté si le paramètre du Lagrangien est convenablement choisi). Les taux de restitution de l'énergie des fissures de délaminage ont pu être calculés. Ils se corrélaient bien avec les prévisions des modèles de plaques (travaux de Storakers, Cochelin), ce qui justifie l'emploi de ces derniers. Les conclusions qui ont pu être tirées sur l'instabilité des fissures courtes et la stabilité des fissures longues rejoignent également celles des théories de plaques. Cette thèse nous a permis une prise de conscience des difficultés rencontrées en élasticité non linéaire, notamment sur le plan des algorithmes, et de l'absence de modèle de comportement réellement satisfaisant pour l'élasticité non linéaire anisotrope (le modèle retenu, dit de Saint Venant, ne possédant pas la propriété de polyconvexité souhaitable).

La thèse en cours de A.Lidouh, débutée en Octobre 89, encadrée conjointement par G. Bouchitte (Université de Toulon), porte sur l'homogénéisation de frontière. Un travail de Sanchez-Suquet au début des années 80 avait jeté les bases d'une approche simplifiée du frottement par l'homogénéisation de rugosités de petite taille sur le bord d'un corps élastique. Le travail de A. Lidouh a consisté à étendre ces résultats au cas de la Plasticité (mais toujours dans le cadre de petites déformations) et de proposer une approche plus systématique (convergence de fonctionnelles) que les développements asymptotiques précédemment utilisés. On obtient pour le vecteur contrainte un cône de Coulomb, éventuellement tronqué dans le cas d'un comportement plastique des aspérités, et une loi de normalité pour le déplacement (différent donc de la loi de Coulomb qui est non associée). L'extension de cette modélisation aux grands déplacements, cadre nécessaire semble-t-il, est un problème ouvert.

La thèse en cours de J.M.Rossi, débutée en Décembre 90, a pour objet l'application des méthodes d'homogénéisation aux problèmes d'optimisation de forme. A partir d'idées de Murat et Tartar, Bendsoe (Danemark) et Kikuchi (USA) ont montré que la formulation rigoureuse des problèmes d'optimisation de forme, mal posés en termes de variations continues d'une forme initiale, fait intervenir un problème relaxé où les mélanges fins de matériaux jouent un rôle essentiel. L'objectif assigné à la thèse de J.M. Rossi est l'extension de ces résultats acquis dans le cas

linéaire à des problèmes non linéaires, avec des propositions de schémas numériques.

OR 04

Matériaux et Scanner X.

H.Caumon, Y.Géraud, F.Mazerolle, H.Moulinec (depuis le 15-10-1990), S.Raynaud.

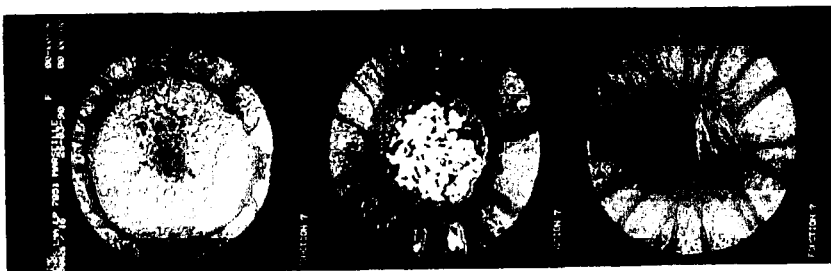
Les études effectuées dans le cadre de cette opération de Recherche sont à caractère expérimental. Elles sont basées sur des mesures de variation de densité au scanner sur des matériaux sollicités mécaniquement ou thermiquement. Trois études sur les géo-matériaux ont été engagées ou poursuivies pendant l'année 1990.

Une étude de déformation des granits sous sollicitations mécaniques et thermiques, accompagnée du suivi de leur variation de porosité in situ, sous scanner, est en cours sur contrat de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA). En 1990 une machine horizontale de compression a été montée autour du scanner. Une cellule triaxiale offrant une faible absorption aux rayons X a été conçue et réalisée. Elle est en cours d'essais. Les gammes d'efforts retenus lors de la conception sont effort axial 400 KN, pression de confinement 30 MPa, température 200 °C.

La seconde étude porte sur les marnes. Menée dans le cadre du G.S. "Rhéologie des roches profondes" en collaboration avec J. Desrues (IMG Grenoble), elle concerne une caractérisation expérimentale de la transition du mode de déformation diffus à un mode localisé. Les mesures de stéréophotogrammétrie menées à l'IMG permettent de mesurer avec précision les déformations de surface de l'échantillon. Les mesures effectuées à Marseille par tomodensitométrie sont complémentaires puisqu'elles sont volumiques et permettent de mieux connaître la dilatance qui accompagne, éventuellement, la localisation des déformations.

La troisième étude porte sur les sables. Elle est effectuée dans le cadre du Greco "Géomatériaux", en collaboration avec J. Desrues et son but est, comme la précédente, de compléter les mesures stéréophotogramétriques par des mesures volumiques. On espère, là encore, mieux comprendre la transition entre déformation diffuse et déformation localisée. Les mesures faites au LMA en 1990 sur des échantillons frettés ou non frettés ont mis en évidence des structures de déformation originales. La localisation de la déformation dans les échantillons frettés se fait à la fois le long de cônes

rigides issus des têtes de l'échantillon et le long de plans hélicoidaux joignant ces cônes (voir figure).



coupes transversales de l'échantillon fretté à 13% de déformation:
a-coupe près de la tête sup. b-coupe au tiers sup. c-coupe au centre



coupes longitudinales: a- échantillon fretté b- échantillon antifretté

Images Scanner Frédéric Mazerolle, Essais Triaxiaux Moncef Mokni

Figure 2

Des études de contrôle non destructif ont également été réalisées avec des objectifs à plus court terme, pour des besoins industriels :

- recherche de défauts de préformes pour composites à matrice métallique (Renault),
- recherche de porosités dans des élastomères résultant d'une mauvaise vulcanisation, et défauts d'adhérence sur parties composites dans des isolateurs électriques (société Dervaux),
- recherche de défauts et de délaminages dans des pièces composites carbone-epoxy (Aérospatiale Marignane).

Rapport d'activité 1987-1990

Le recrutement de H.Moulinec au 15-10-1990 a permis d'entreprendre un programme d'amélioration et de modernisation de l'appareil actuellement utilisé. Un système de traitement d'images est en cours de développement sur station de travail DEC à partir de la bibliothèque de routines MIDAS de l'European Southern Observatory.

Situation et perspectives de la recherche dans les domaines national, européen, international.

OR 54

Matériaux et Structures Hétérogènes

Sur le plan national, nous espérons faire partie des quelques équipes françaises crédibles dans le domaine de l'homogénéisation et de la micro-mécanique :

- coordination de la demi-journée "Passage micro-macro" du colloque 1990 de MECAMAT.
- participation au GIS "Composites à matrice métallique" en 1990.
- contrat d'ATP "Matériaux Hétérogènes" en cours, en collaboration avec J.B. LEBLOND (Université Paris 6), contrat géré par le LMA.
- contrat Renault (REGIENOV) sur les composites à matrice métallique (a débuté fin 90), en collaboration avec l'Ecole Polytechnique (T. BRETHER, A. ZAOUI), contrat géré par l'Ecole Polytechnique.
- participation à différents comités (ATP Matériaux Hétérogènes, Haut Comité de la Mécanique, Comité Scientifique LMA Besançon, IMG Grenoble pour 1990, GPM2 Grenoble).

Sur le plan international nous entretenons, sur ces problèmes de micro-mécanique, des rapports suivis avec le Courant Institute (B. Kohn, G. Milton, séjour de 10 jours de P.S. en Novembre 1990), Brown (A. Needleman) et d'autres chercheurs, par des contacts plus ponctuels. Par ailleurs, intéressée par certains de nos travaux théoriques sur la Plasticité, une stagiaire argentine (N. Muler) a effectué deux séjours au LMA (3 mois puis 6 mois) en 1990-1991 sur des questions de mathématiques appliquées sur le thème "Problèmes dynamiques en Plasticité et Visco-plasticité".

L.M.A. - Equipe M.E.S.H..

OR 04**Matériaux et Scanner X.**

Le scanner installé au LMA est l'une des rares installations de ce type accessible en France à des universitaires et le dispositif expérimental mis en place pour permettre des essais in situ est original à notre connaissance. Compte tenu de la résolution de l'appareil et de la puissance de la source disponible, les matériaux qui se prêtent le mieux à ces études sont les géomatériaux, par l'échelle des phénomènes à observer et par leur faible absorption aux rayons X.

Notre collaboration avec J.Desrues (IMG Grenoble) sur les mesures de variation de densité par tomодensitométrie, a pris de l'ampleur, nécessitant des crédits spécifiques. Le GRECO "Géo-Matériaux" et le GS "Rhéologie des roches profondes" qui se sont montrés intéressés par ces travaux, nous ont ouvert leurs portes (à compter de 1991).

Publications*Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture*

S.RAYNAUD, E.CARRIO, F.MAZEROLLE, H.J.LATIERE "La tomодensitométrie, un outil pour mesurer la porosité de volumes millimétriques de roche autour d'un stylolite". C. R. Acad. Sc. Paris, II, 310, 1990, 271-276.

Y.GERAUD, P.GAVIGLIO "Modification expérimentale de la texture de granites par chauffage évolution de la porosité et de la densité en fonction de la température". C. R. Acad. Sc. Paris, II, 310, 1990, 1681-1686.

E.CARRIO-SCHAFFHAUSER, S.RAYNAUD, H.J.LATIERE, F.MAZEROLLE "Propagation and localization of stylolites in limestones". in Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics, ed. Knipe R.J. & Rutter E.H., Geological Society Special Publication, 54, 1990, 193-199.

P.SUQUET "Une méthode simplifiée pour le calcul des propriétés élastiques de matériaux hétérogènes à structure périodique". C. R. Acad. Sc. Paris, II, 311, 1990, 769-774.

Publications de conférences à des Colloques avec Actes

H.JAFFAL, B.JANIN, J.C.MICHEL, O.DEBORDES "A numerical method of resolution for 3D viscoplastic problem in homogeneisation", 5ième Congrès Int. Meth. Num. Ing. Lausanne, Springer Verlag, Septembre 89, pp. 297-304.

C.LICHT, P.SUQUET "Rupture ductile et croissance de cavités dans une matrice viscoplastique". in Aspects microstructuraux de la rupture. 32ème Colloque de Métallurgie de l'INSTN. Editions de la Revue Française de Métallurgie. Paris. 1990. 169-179. (Conférence invitée).

G.BOUCHITTE, P.SUQUET "Homogenization, plasticity and yield design". Trieste 1990. in Composite Media and Homogenization Theory. Ed. G. Dal Maso, G.F. Dell'Antonio. Birkhäuser. Boston. 1991. 107-133. (Conférence invitée).

S.BONELLI, O.DEBORDES, J.C.MICHEL "Eléments finis sur machine à transputers, analyse des performances en élastoplasticité", in StruCoMe 90, Ed. DATAID, Paris 1990. 605-613.

O.DEBORDES, J.C.MICHEL "Parallélisation de problèmes non-linéaires", Calcul des Structures et Intelligence Artificielle, Vol. 4, Ed. Pluralis. 1990. 223-232.

Publications de conférences à des colloques sans "actes" ou avec "actes à diffusion restreinte"

A.AIT MOUSSA, C.LICHT, P.SUQUET Etude d'un joint collé très mince, 21ème Congrès National d'Analyse Numérique, Autrans.

A.AIT MOUSSA, C.LICHT, P.SUQUET Modélisation et singularités de contraintes dans un joint collé mince, 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 Septembre 1989, Metz.

R.PEYROUX, P.SUQUET Caractéristiques thermoélastiques d'un composite à fibres courtes, 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 Septembre, 1989, Metz.

C.WIELGOSZ, J.C.MICHEL, "Calcul des contraintes résiduelles après une opération de dudgeonnage", VIIème Symposium Franco-Polonais, Radziejowice, Pologne, 2-7 Juillet 1990.

P.SUQUET "Méthodes de calcul simplifiées pour la détermination des propriétés élastiques de composites à structure périodique". Colloque Mécamat. Evian. Mars 1990.

P.SUQUET "Optimisation de forme. Homogénéisation de frontière". Communication à l'atelier "Les verrous de la modélisation pour l'ingénieur" organisé par B. NAYROLES. Grenoble. Septembre 1990.

P.SUQUET "Groxt of voids in a viscous matrix effects of existing porosity and of a second population". Communication au Winter Annual Meeting de l'ASME. Session Damage Mechanics. Dallas. USA. Novembre 1990.

Thèses

D.LIAO "Approche par l'élasticité non linéaire du flambage de composites en compression". Université de Montpellier. Juin 1990.

R.PEYROUX "Caractéristiques thermoélastiques de matériaux composites à fibres courtes". Thèse Université de Montpellier. Mai 1990.

Equipe Mécanique et Méthodes Numériques (M.M.N.)

Responsable : M.RAOUS

Orientation Générale

L'activité de l'équipe MMN s'articule autour de la modélisation du frottement, des grandes déformations plastiques et du traitement numérique des systèmes à grand nombre de degrés de liberté. Ces recherches relèvent de la mécanique des structures et une part importante de notre activité est consacrée au développement de méthodes numériques qui permettent de mener nos études jusqu'à des applications de type industriel (mise en forme, emboutissage, assemblage de structures...).

Notre activité et nos projets pour les quatre années à venir concernent des études de modélisation, du développement de méthodes numériques et un programme expérimental qui est nouveau dans notre groupe. Ces programmes nécessitent pour leur mise en oeuvre un soutien en personnel chercheur et ITA qui donnera à notre équipe un noyau stable de permanents qui est insuffisant à l'heure actuelle (1 DR, 1 CR, 1 IE).

Un effort important doit être porté dans les années qui viennent sur les aspects modélisation du frottement et du contact. Les méthodes numériques traitant du frottement de Coulomb sont actuellement presque standards dans les codes de calcul et il importe maintenant de raffiner les modèles. Notre effort s'engage sur :

- la sophistication de lois de frottement s'appuyant en partie sur des avancées de la plasticité loi à adoucissement (instabilité, bifurcation), introduction de paramètre de rodage (type endommagement), anisotropie,
- les passages micro-macro ou plus précisément local-global étude en collaboration avec les tribologues des effets locaux de surface tels que les déformations d'aspérités et passage à l'échelle globale par des techniques d'homogénéisation,
- l'association de loi de frottement aux non linéarités de comportement telles que les grandes déformations plastiques ou l'élasticité finie incompressible.

Ces avancées seront accompagnées bien sûr d'un effort portant sur les méthodes et les algorithmes numériques nécessaires pour traiter correctement ces modèles non linéaires. De manière un peu plus générale, les études sur les méthodes mutigrilles seront poursuivies et étendues aux méthodes FAC (Fast Adaptive Composite Grids). Il s'agit là de permettre le traitement de systèmes à nombre de degrés de liberté élevé obtenus notamment dans la modélisation 3D.

Dans le domaine expérimental la validation de nos modèles s'est faite jusqu'à présent au travers de collaborations avec des laboratoires de type universitaire (INSA Lyon) ou industriel (Renault, Sollac, Technicatome). Nous envisageons de démarrer un travail expérimental sur :

- l'étude de la stabilité d'empilements ou de structures soumis à des tremblements de terre menée à l'aide de la table vibrante du LMA. Un travail avec J.J. Moreau est en cours et des ouvertures en génie civil et en archéologie sont négociées avec l'école italienne en particulier.
- la génération de bruit dans les contacts glissants il s'agit d'abord des bruits de crissement observés par exemple avec les plaquettes de frein à faible pression ou dans certains paliers. Ces études d'instabilités dynamiques pourront être menées en collaboration avec l'équipe d'absorption active (équipe A3) dans le cadre d'une action horizontale de collaboration inter équipes.
- l'étude du contact avec frottement pour les caoutchoucs en grandes déformations.

Une partie de ces projets scientifiques sera menée en collaboration et avec le soutien financier de partenaires industriels. Une collaboration déjà ancienne avec Renault se poursuit sur les problèmes d'emboutissage. La suite des études micro macro déjà engagées au sein d'un groupe soutenue par le MRT associant l'IRSID, la SOLLAC, RENAULT, PSA, l'INSA, le CEMEF est en cours de négociation avec SOLLAC, IRSID et l'INSA. Les bruits de crissement seraient étudiés avec VALEO- Matériaux de friction et celles sur les frottements de caoutchouc avec VALEO-Essuyage pour des balais d'essuie-glace.

Enfin, des activités de formation sont menées par notre groupe à la fois sous la forme d'encadrement de travaux de thèses, de DEA ou de stages, et sous celle de la participation à des enseignements. Malgré les difficultés de recrutement liées en partie à la déficience des universités marseillaises en mécanique du solide, nous avons assuré, ces dernières années une moyenne de deux DEA et d'une thèse soutenus par an (Pinto 1990, Lebon, 1989, Gazhouane 1988). L'objectif est de monter à une moyenne de 1,5 thésards par an et 3 DEA. Ceci conduirait à la présence de 6 ou 7 étudiants

dans l'équipe. Ceci devrait être possible grâce à la création cette année d'un nouveau DEA de Mécanique à Marseille avec une option Fluide, une option Solide et une option Acoustique. Il va sans dire que nous sommes fortement impliqués dans la mise en place et dans les enseignements prévus de ce DEA et de l'option Mécanique du Solide en particulier. On note nos interventions actuelles dans les enseignements du DEA de Mathématiques Appliquées (Université de Provence), du DEA d'Acoustique et Vibrations (UII), de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Marseille (associée à l'IMT) et même de maîtrise d'Ingénierie Mathématique à l'UII (qui souligne le manque de mécaniciens des solides sur Marseille).

Activités de recherche

OR 21 Frottement et contacts unilatéraux

M.Raous, P.Chabrand, E.Pratt, F.Dubois

Les méthodes et les algorithmes numériques que nous avons développés ces dernières années permettent un traitement précis du contact unilatéral et du frottement de Coulomb. On a montré également qu'après la viscoélasticité ou la viscoplasticité, ces méthodes s'étendaient aussi au traitement fortement non linéaire de comportement plastique en grandes déformations. L'effort important porté ces dernières années sur le développement d'outils numériques performants nous permet de disposer au laboratoire de 3 codes de calcul adaptés au traitement du contact avec frottement :

- le code PROTIS complètement réalisé au laboratoire,
- le code ASTRID de J.C. Gelin traitant de grande déformations plastiques et dans lequel nous avons implanté un traitement du contact avec frottement,
- le code Modulef dans lequel nous développons un ensemble de modules spécialisés pour le contact avec frottement.

Nous abordons maintenant une phase de recherches consacrée aux modèles de frottement eux-mêmes, à la détermination de lois nouvelles de frottement en relation avec les observations tribologiques à l'échelle globale et locale. Les principales directions de recherche qui seront développées dans ce contexte durant les quatre années à venir concernent :

a. modèles mécaniques nouveaux pour le frottement

- introduction de coefficient de frottement variable. Il s'agit essentiellement de prendre en compte une décroissance du coefficient de frottement en fonction de la vitesse. Par analogie avec la plasticité, on peut utiliser le terme de loi à adoucissement. Un DEA est en cours sur ce sujet (S. Kevorkoff).
- introduction d'un paramètre de rodage analogue à de l'endommagement destiné à prendre en compte l'effet du chemin parcouru (mémoire de la longueur frottée) dans le frottement.

b. passage micro-macro ou plus précisément local-global, homogénéisation.

On s'intéresse à la modélisation de comportements locaux (à l'échelle de 10u à 200u) pour le frottement. Il s'agit de l'écrasement et de l'arasement d'aspérités ou de plateaux pour les tôles Lasertex. La modélisation et la résolution numérique sont menés en grandes déformations plastiques avec contact et frottement contre un obstacle rigide. On trouvera sur la figure 1 la déformée et la déformation plastique d'un plateau qui atteint ici 250% en certains points



figure 1 déformation plastique d'un plateau (200u de large) pour une tôle Lasertex.

Cette classe d'études a trois objectifs :

- mieux comprendre les phénomènes locaux formation de débris, grippage, optimisation des profils Lasertex,...
- interpréter les coefficients introduits (et réputés avoir une signification physique) dans certaines méthodes numériques liées à des modèles de compliance du contact,

- apporter une contribution dans un programme à 4 ans sur l'homogénéisation, ou passage micro-macro pour le frottement. Il s'agit là d'une approche complémentaire à celle des travaux de Suquet, Sanchez-Palencia et Bouchitté sur l'étude d'engrèvements d'aspérités en élasticité ou plasticité de Hencky. Cette étude est menée en concertation avec P. Suquet. Un DEA est en cours (T. Lenepveu).

c. problèmes dynamiques

On s'intéressera en particulier aux non linéarités introduites au paragraphe "a" dans un contexte dynamique. L'objectif est l'analyse de phénomènes d'instabilités (de type stick-slip ou autre) ou de bifurcation qui peuvent apparaître (bruit de plaquette de frein, ondes de Schallamach,...) (DEA en cours S. Kevorkoff).

Des études expérimentales seront également entreprises sur la stabilité d'empilements. Des applications en archéologie sont possibles et une coopération avec l'Italie est envisagée. Un contrat avec Valéo est en cours de négociation sur les bruits de crissement de plaquettes de frein. En plus de l'étude théorique sur la génération de bruit issue de l'apparition de phénomènes d'instabilité au niveau du contact, il est envisagé de remonter le montage expérimental utilisé il y a quelques années au laboratoire, et de mener une campagne d'essais visant à cerner les paramètres dominants dans l'apparition de la nuisance.

d. contact et frottement en élasticité incompressible

Il s'agit essentiellement de l'étude des caoutchoucs dans un contexte de grandes déformations. Cette étude a commencé par un stage de 6 mois d'un étudiant brésilien en 1990 une collaboration avec la PUC et le LNCC (Rio) est en cours. Des contacts ont été pris avec Valéo pour étudier l'évolution du contact balai d'essuyage-pare brise pendant le mouvement. Un programme expérimental sur les caoutchoucs en grandes déformations sera également monté au laboratoire.

Dans cette opération de recherche notre objectif est de modéliser le contact et le frottement pour des problèmes de mise en forme. Plus particulièrement nous étudions l'effet de serre-flan en emboutissage pour contribuer, par une description fine du contact et du frottement, à la compréhension des mécanismes mis en jeu. Les serre-flans utilisés dans l'industrie peuvent être rectilignes ou munis de jons de retenue dont la présence et la forme dépendent des pièces à obtenir. En l'absence d'un jonc le problème à résoudre est posé sous l'hypothèse des petites déformations plastiques. Dans le cas contraire, la présence d'un jonc impose à la tôle de grandes rotations et de grands déplacements le problème se présente alors comme un problème de contact et de frottement en grandes déformations élasto-plastiques. La complexité des modèles numériques développés pour traiter ce problème est principalement due à trois raisons. La première provient de la non-linéarité introduite par la cinématique des grandes déformations. La deuxième raison est due à la loi de comportement et provient du caractère incrémental de cette loi qui dépend de l'histoire des déformations. Enfin, la dernière raison provient de la non linéarité qui apparaît dans l'écriture du contact et du frottement. D'autre part la surface de contact évolue au cours du chargement et des problèmes supplémentaires de modélisation (définition des notions de distance du solide à l'obstacle) et numériques se posent.

Dans sa thèse, soutenue en décembre 1990, Yves Pinto présente les conclusions de la première phase de ce travail qui fait l'objet d'une collaboration avec J.C.Gelin (LMA-Besançon) et qui bénéficie du soutien contractuel de REGIENOV. En particulier deux algorithmes d'intégration numérique de la loi de comportement y ont été étudiés. Il s'agit d'un algorithme explicite-implicite utilisant une mesure objective de l'incrément de contrainte défini sur une configuration de référence et d'un algorithme implicite s'appuyant sur la décomposition multiplicative de la déformation. Le problème de contact et de frottement a été résolu par une méthode de sur-relaxation associé à un procédé d'accélération de convergence d'Aitken ou bien par une méthode de Lemke. Cette dernière méthode a été étendue au cas du frottement en écrivant les conditions de frottement sous forme de relations de complémentarité.

Dans le cadre d'un doctorat cofinancé par le CNRS et REGIENOV Frédéric Dubois va poursuivre ce travail. Il va s'agir en collaboration avec J.C. Gelin et E. Onate (Barcelone-Espagne) de coupler l'étude du comportement de la tôle sous le serre-flan avec celle concernant la partie de la tôle située sous le poinçon pour arriver au traitement complet d'un problème d'emboutissage. La nature incrémentale des problèmes

élastoplastiques en grandes déformations rendent ici, plus qu'ailleurs, crucial le choix de la méthode utilisée pour la prise en compte du contact et du frottement. Pour disposer d'un ensemble complet de méthodes nous allons étudier l'application à ce problème de méthodes de pénalisation ou de Lagrangien augmenté. Ces méthodes testées sur des exemples simples seront ensuite comparées sur des exemples plus importants pour tenter de dégager une stratégie à adopter dans le cas de la mise en forme.

Pour modéliser le frottement nous utilisons actuellement une loi de Coulomb. Toutefois dans des cas tels que celui de la mise en forme les pressions de contact sont assez élevées et un modèle modifié de Coulomb-Orawan devrait permettre de mieux décrire les phénomènes dus au frottement. Ces deux modèles seront étudiés aussi bien sur des exemples tests que sur le problème du serre-flan avec jonc. Avec les exemples présentés dans sa thèse Y. Pinto obtient avec les deux algorithmes d'intégration de la loi de comportement des résultats tout à fait comparables. Dans la perspective de déformation d'un outil numérique par la mise en forme il reste nécessaire de poursuivre une analyse détaillée de chacun d'eux. Pour centrer les difficultés sur le traitement des problèmes élastoplastiques en grandes déformations, Y. Pinto a, dans sa thèse, considéré une modélisation simplifiée d'un jonc de retenue. Cette étape de faisabilité se prolonge maintenant par la prise en compte des géométries données par REGIENOV. Les difficultés qui surviennent sont essentiellement dues au faible nombre de conditions aux limites qui conduit à un problème mal conditionné.

OR 034 Modélisation de problèmes industriels

M.Raous, L.Grégo, J.C.Latil

Cette opération de recherche change de nom en 1991 ; son nouvel intitulé est "Modélisation numérique multiéchelle". Son contenu et les programmes à 4 ans sont décrits ci-dessous. La modélisation de problèmes industriels a été décrite dans le reste du texte.

Cette action de recherche s'inscrit dans la dynamique du GR "Modélisation" en cours de mise en place depuis le workshop "Les verrous de la modélisation" organisé par Bernard Nayroles en Septembre 90 à l'IMG.

Le travail engagé durant la thèse de Frédéric Lebon (1989) sur les multigrilles en Mécanique des Structures Non linéaire se poursuit par l'étude et la mise en oeuvre de méthode FAC (Fast Adaptive Composite

grids). Il s'agit de méthodes de soustructuration qui devraient bien convenir aux raffinements locaux rendus nécessaires par la localisation des non linéarités de contact. Une collaboration est engagée avec Robert Boyer (UFR MIM de l'Université de Provence) avec encadrement conjoint de la thèse de Laurence Grégo. Il s'agit là du développement de méthodes rapides nouvelles quant à leur application en mécanique des structures. Elles consistent à n'effectuer que peu d'opérations de lissages sur la grille fine où est cherchée la solution et à reporter une grande partie du travail sur des grilles grossières où une erreur de correction est calculée. L'intérêt de ces méthodes est connu en mécanique des fluides. On montre ici leur efficacité pour des problèmes non linéaires en mécanique des structures. Il s'agit ici du contact avec frottement mais une extension est envisageable en plasticité. De plus, une technique de type FAC permet une résolution en parallèle des problèmes posés sur les sous domaines. Cette étude de parallélisme figure dans nos objectifs puisqu'il sera bientôt possible de travailler depuis le LMA sur l'ordinateur "parallèle" qui va être installé à l'IMT.

C'est également dans cet OR que sont développées les recherches de type "méthodes numériques" en programmation linéaire (Lemke, Cottle-Dantzig ou autre) ou de gradient conjugué pour des problèmes d'optimisation non différentiable sur un convexe (DEA en cours S. Barbarin).

Situation et perspectives de la recherche dans les domaines national, européen, international.

A propos du rayonnement scientifique en France et à l'étranger, on peut noter tout d'abord la responsabilité de l'édition d'un numéro spécial du JMTA intitulé "Numerical methods in mechanics of contact involving friction" en 1989 et la participation au Comité d'organisation de plusieurs colloques Colloque Euromech 272 "Unilateral contact and dry friction" en 1990, Workshop International "Innovative Finite Element Methods" à Rio en 1989, ou les rencontres scientifiques "Mécanique, Modélisation Numériques et Dynamique des Matériaux" en 1991 à l'occasion du Cinquantenaire du Laboratoire.

Nos collaborations sur le plan national, outre celles avec des partenaires industriels que nous avons déjà évoquées, sont fortes avec les quatre équipes universitaires suivantes :

- l'UFR "Mathématiques, Informatique, Mécanique" de l'Université de Provence (E. Pratt, R. Boyer, B. Martinet, P. Haldenwang) recherche en commun, encadrement conjoint d'étudiants, participation à des enseignements,
- l'Université de Franche Comté (J.C. Gelin) en ce qui concerne la modélisation en grandes déformations plastiques,
- l'Université de Montpellier (J.J. Moreau, M. Jean, F. Lebon) sur la modélisation théorique et numérique du frottement,
- l'INSA de Lyon (M. Godet, Y. Berthier) à propos de l'étude expérimentale et de son interprétation des aspects locaux de surface pour le frottement.

On notera également notre participation au GRECO Calcul des Structures (achevé en 1991), aux activités du groupement MECAMAT, et à l'action Modélisation lancée par B. Nayroles, G. Touzot, O. Débordes en 1991.

Au niveau européen plusieurs collaborations sont opérationnelles ou en phase de démarrage :

- Université de Birmingham (Prof. Sturgess) où P. Chabrand effectue un stage de 6 mois en 1991,
- Université de Barcelone (Prof. Onate) où F. Dubois, en thèse dans l'équipe, ira passer un an en 1991/92 en tant que VSNA sur un projet associant le CIMNE, le LMA et Renault,
- Université de Lisbonne (Prof. Pirès et Martins) où une collaboration est en cours de mise en place en 1991 (2 séjours de travail à Marseille et à Lisbonne en 1991),
- Université de Rome et de Naples et Institut Universitaire d'Archéologie à Venise sur les problèmes de dynamique de stabilité d'empilements de solides rigides en présence de frottement applications à la ruine de monuments anciens sous sollicitations sismiques. Un programme de recherche franco-italien en association avec J.J. Moreau (USTL Montpellier) est en cours de mise en place.
- Institut Polytechnique de Lausanne (A. Curnier) avec qui nos relations scientifiques sont anciennes.

Les différentes collaborations à vocation méditerranéenne mettent en relief le rôle particulier que peut jouer Marseille dans les grands courants de recherche communautaire liés à la réalité de la Communauté Européenne de demain. L'ouverture de Marseille sur la façade méditerranéenne lui donne un rôle spécifique à jouer dans l'intégration de la recherche française à

celle de la communauté. Le LMA peut et se doit d'apporter une contribution dans ce sens. Sur la base de créneaux thématiques bien ciblés, cet effort s'appuie sur le potentiel lié à une culture commune. Cette ouverture est bien sûr en appui sur nos autres collaborations nationales ou internationales.

Au niveau international extra européen un programme de convention d'échange avec le LNCC à Rio (A. Galeao, R. Feijoo, H. Barbosa, L. Franca) est opérationnel. Au delà des échanges de chercheurs pour des périodes courtes, cette collaboration se concrétise par l'accueil d'étudiants en stage pour des périodes longues (A. Aguiar en 1990) ou l'organisation de manifestation conjointes (1989). Plus ponctuellement, nous avons des échanges avec Stanford et Berkeley (T.J.R. Hughes, J.C. Simo, B.Taylor).

Publications

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

P.CHABRAND, C.LICHT, O.MAISONNEUVE, M.RAOUS Residual thermal tempering stresses, Computers and Structures, 1989, vol. 31, n° 6, pp.1003-1012.

P.CHABRAND, M.GHAZOUANE Validation of structural computation codes in elastoviscoplasticity, International Journal of Numerical Methods in Engineering, 1990, vol. 29, pp. 1109-1130. (publication du groupe de travail "Validation des codes de calculs du GRECO Grandes déformations et endommagement").

Publications de conférences à des colloques avec "actes"

P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS A numerical model of friction for the blankholder function analysis, 3rd Int. Conf. on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, Congres NUMIFORM 89, June 2-30, 1989, Fort Collins, Colorado, USA.

F.LEBON, M.RAOUS Multigrid in structure assembling problem, 10th Int. Conf. Congrès SMIRT-89, august 14-18, 1989, Anaheim, Californie, USA.

P.CHABRAND, F.LEBON, M.RAOUS Variational velocity formulation for contact with friction problems and applications, 10th Int. Conf. Congrès SMIRT-89, august 14-18, 1989, Anaheim, Californie, USA.

F.LEBON, M.RAOUS Fixed point and internal multigrid methods for friction problems in Structure Assembling, Vth International Symposium on Numerical Methods in Engineering GAMNI/SMAI, september 11-15, 1989, Lausanne, Suisse.

P.CHABRAND, F.LEBON, Y.PINTO, M.RAOUS Computational non linear mechanics for engineering problems, 2nd International Conference on Computational Plasticity, 18-22 September 1989, Barcelone, Espagne.

P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS Numerical modelling of the friction in small and finite strains for metal forming processes. Analysis of the blankholder function, Colloque Euromech 273 Unilateral Contact and dry friction, La Grande Motte, May 29th-June 1st, 1990.

Publications de conférences à des colloques sans "actes" ou avec "actes à diffusion restreinte"

M.RAOUS, Y.PINTO, P.CHABRAND Modélisation numérique du frottement en emboutissage. Contribution à la présentation poster du groupement "Contact métal outil en emboutissage", Colloque ID-MAT/Matériaux Sciences et Industrie, 9-11 janvier 1989, La villette, Paris.

P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS Méthodes numériques pour les problèmes de contact avec frottement. Application en emboutissage. 3ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures", 16-19 Mai 1989, Giens.

F.LEBON, M. A.LEDAIN, M.BELLET, J.L.CHENOT, M.RAOUS Introduction aux méthodes multigrilles en calcul des structures linéaire ou non linéaire, 3ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures", 16-19 Mai 1989, Giens.

M.RAOUS, C.LICHT, E.PRATT Remarks on a numerical method for unilateral contact including friction, 4th Meeting "Unilateral Problems in Structural Analysis", 14-15 Juin 1989, Capri, Italie.

J.MADEJ, M.RAOUS Damage influence on thermal properties of Materials, Euromech 251, "Applications of continuum Damage Mechanics", 4-7 Septembre, 1989, Krakow, Poland.

M.RAOUS, S.TOPIN Ondes de contrainte dans un contact glissant, 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 Septembre, 1989, Metz.

P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS Modélisation de l'effet serre-flan en emboutissage, 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 Septembre, 1989, Metz.

M.RAOUS Stratégie optimale dans l'utilisation des méthodes multigrilles en mécanique non linéaire, 4ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures", Giens, 15-18 Mai 1990.

M.RAOUS Matériau de surface indéfinissable dans le contact avec frottement, Colloque "Les Verrous de la modélisation pour l'Ingénieur", Grenoble, 10-13 Septembre 1990.

P.CHABRAND, Y.PINTO Comparaison de méthodes de traitement du contact avec frottement en élasto-plasticité et grandes déformations. Application à la mise en forme. VIIe Symposium Franco-Polonais sur les "Nouveaux aspects de la mécanique des matériaux élasto-plastiques. Radziejowice, 2-4 Juillet 1990, Pologne.

Thèses soutenues

F.LEBON, Résolution numérique de problème de frottement de Coulomb. Accélération de convergence par une méthode multigrille interne, Nouveau Doctorat, Université de Provence, 17 février 1989.

Y.PINTO, Contact et frottement en grandes déformations plastiques. Application au serre-flan en emboutissage, Nouveau Doctorat, Université de Provence, décembre 1990.

Notes ou rapports internes

J.MADEJ Etude prospective de caractérisation thermique de zones endommagées d'une éprouvette de fatigue. Juin 1989.

A.BERRY Gradient conjugué avec préconditionnement pour un problème d'élasticité, DEA M.Appli, 1989.

F.DUBOIS Etude complète du test de frottement plan-plan, comparaison de différentes méthodes numériques, rapport de DEA Acoustique et Vibrations, Juin 1990.

L.ELENA Gradient conjugué pour le contact unilatéral et analyse mécanique simplifiée du comportement de surface d'une tôle en emboutissage, rapport de DEA de Mathématiques Appliquées, Septembre 1990.

L.GREGO Génération de maillages pour les méthodes multigrilles et raffinement localisé, rapport de DEA de Mathématiques Appliquées, Septembre 1990.

J.M.RUGGIERI Modélisation théorique et numérique d'ondes de glissement dans un contact adhésif, rapport de stage de maîtrise, septembre 1990.

Equipe Matériaux et Propagation (MATEP)

Responsable : R.H.BLANC

Orientation générale

L'Objectif Scientifique et Technique 2.3.3 du Schéma Directeur 1987-89 stipule "La connaissance des **lois de comportement mécanique**, macroscopique, des matériaux est nécessaire à la définition des conditions optimales de leur utilisation. Orientation essentielle la formulation même des lois et leur établissement, le plus souvent par voie expérimentale. Sont importantes les études du couplage entre comportements (thermomécanique), de l'endommagement, du comportement dynamique. Beaucoup reste à faire sur le comportement mécanique des polymères". Le Schéma Directeur 1989-91 reprend et précise ces orientations O.S.T. 2.3.3 **Comportement Mécanique des Matériaux**. "Cet objectif, centré sur l'établissement des **lois de comportement mécanique macroscopique** des matériaux est poursuivi à travers une double démarche scientifique la première s'attache à dégager, sur la base de l'expérience, les **lois phénoménologiques caractéristiques d'un matériau donné**. Cela nécessite à la fois le développement d'essais mécaniques performants et fiables, la conception de nouveaux schémas de comportement et de procédures adaptées d'indentification et l'élargissement des formulations rhéologiques permettant de représenter, dans un cadre mécanique et thermodynamique cohérent, des comportements complexes variés (comportements couplés,...)". C'est là l'orientation générale de l'équipe **Matériaux et Propagation**.

En effet, l'activité de l'équipe MATEP s'inscrit dans deux domaines de recherche la caractérisation dynamique des matériaux et l'étude de leur comportement thermomécanique. Les matériaux que nous étudions sont les solides doués d'amortissement interne, tels que polymères, élastomères et, plus récemment, les matériaux composites.

Nous avons entrepris l'étude de la dissipation viscoélastique dans les hauts polymères (OR 33) et poursuivons l'étude de leur comportement thermomécanique, intéressant tant sur les plans fondamental qu'appliqué (OR 29).

L'étude des ondes viscoélastiques nous a conduit à la résolution du problème inverse de la mesure des caractéristiques mécaniques des matériaux, c'est-à-dire la détermination de leur loi de comportement, par des méthodes de propagation d'ondes. Elles s'appliquent spécifiquement, par exemple, à l'acoustique des solides (OR 29).

Activités de recherche

Voici les idées directrices que nous avons mises en oeuvre dans ces recherches ainsi que l'essentiel des résultats originaux qui en sont issus ; on trouvera plus de détails dans nos publications.

OR 33 **Dissipation viscoélastique.** R.Blanc, E.Giacometti, M.Hajar.

Dans le cadre d'un contrat avec l'Aérospatiale, nous avons abordé l'étude du comportement thermomécanique des matériaux viscoélastiques par radiométrie infrarouge. Par sa précision et sa vitesse de réponse, la radiométrie infrarouge nous a permis d'observer les variations de phase du signal température associées à des sollicitations mécaniques cycliques dans des expériences adiabatiques, mesures qui n'avaient pu être opérées jusque là faute de moyens expérimentaux suffisamment fins. Les résultats auxquels nous sommes parvenus ont satisfait mais aussi dépassé le cadre appliqué du contrat, certains présentant un intérêt fondamental. En particulier, on montre sur des hauts polymères en vibration forcée, qu'il existe entre la déformation (ou la contrainte) et la température, un angle de phase qui est une propriété intrinsèque du milieu viscoélastique étudié. Nous avons mis en évidence que la différence entre la phase de la température et l'angle de perte est indépendante de la fréquence ; cette constante se présente comme une caractéristique thermomécanique du milieu.

Les recherches précédentes nous ont également permis de vérifier un résultat antérieur établi par T.R. Tauchert au moyen de techniques expérimentales totalement différentes, à savoir que tout le travail reçu n'est pas transformé en chaleur. Mais ce processus ne peut se poursuivre indéfiniment. Que devient donc le travail non dissipé en chaleur ? Y a-t-il dégagement différé ? Le bilan thermique s'équilibre-t-il ? Si non l'état final n'est pas identique à l'état initial. S'agit-il d'un endommagement ? La

réponse théorique à ces questions a fait l'objet de la thèse de Moha Hajar "Equations d'évolution et bilans énergétiques en viscoélasticité linéaire, étude dans le cadre de la thermodynamique des matériaux à mémoire évanescence". Sa thèse a obtenu la mention Très Honorable. En ce qui concerne les résultats expérimentaux précédents, la théorie rend compte du déphasage que nous avons observé, du signal température. Voilà donc un résultat fondamental nouveau, établi. Par contre, cette théorie n'explique pas complètement le défaut de bilan énergétique. Cette question présente un intérêt aussi bien fondamental qu'appliqué. Nous avons repris ces recherches, cf infra Situation et Perspective.

OR 29

Propagation dans les solides.

R.Blanc, B.Lundberg, F.Menant, J.P.Romieu.

Cette Opération de Recherche (1987) a pris ensuite les intitulés suivants Ondes viscoélastiques (1988-89) et Acoustique des matériaux (1990).

Caractéristiques dynamiques des solides. Méthodes d'impulsion.

Au cours des années précédentes, nous avons établi et développé des méthodes de propagation d'ondes transitoires brèves pour déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux dans la gamme des fréquences audibles. Le principe de ces méthodes consiste à déduire les propriétés viscoélastiques d'un milieu à partir de l'évolution de la forme d'une onde qui s'y propage. Loin de venir s'ajouter à l'arsenal des techniques déjà existantes, ces méthodes viennent, au contraire, combler une lacune entre les méthodes vibratoires et ultrasonores.

En 1988-89, nous avons mené à bien pour la Société Vibrachoc un contrat sur la mesure des caractéristiques mécaniques d'élastomères et de matériaux amortissants. Nous avons également mené à bien un contrat avec l'Etablissement de Marignane de l'Aérospatiale pour la détermination des caractéristiques viscoélastiques dynamiques de poutres composites. Nous avons ainsi initié l'extension de nos méthodes, de l'étude des milieux isotropes à celle des matériaux anisotropes. Cette étude a pleinement atteint son objet, si bien que ces méthodes intéressent maintenant deux établissements de l'Aérospatiale le Centre Commun de Recherches, à Suresnes et la Division Hélicoptères, à Marignane. Comme suite, un contrat plus important vient d'être signé avec l'Aérospatiale, n° 360/50413230, du 8.11.90.

L.M.A. - Equipe MATEP



Superposition des impulsions. Coopération internationale.

L'équipe MATEP entretient depuis 1985 une coopération suivie avec l'Université de Lulea, Suède. Dans ce cadre, le Pr Bengt Lundberg est venu passer six mois dans l'équipe, à Marseille. Le Pr Lundberg est Vice Chairman of the Swedish National Committee of Mechanics et Secrétaire du European Mechanics Council. Par la suite il est revenu régulièrement au L.M.A. pour des séjours de recherche en 1987, 88 et 90 ainsi que le Pr Ram Gupta (Cf in fine, Publications, §VI Opérations Scientifiques Internationales). Nous avons résolu le problème de la détermination des propriétés dynamiques des corps viscoélastiques dans le cas d'échantillons courts et/ou de milieux à amortissement extrême, en prenant en compte la superposition des réflexions successives de l'onde sur chaque extrémité du barreau.

Réciproquement, R.Blanc a effectué en 1989, un séjour de recherche de quatre mois en Suède. Le Programme de Recherche en Coopération sur Conventions Internationales du CNRS s'intitulait "Etude du comportement dynamique des matériaux par des méthodes de propagation d'ondes produites par chocs".

Pour poursuivre cette coopération, M.Sven Ödeen vient à Marseille pour dix-huit mois préparer son PhD dans l'équipe (il est arrivé le 7 janvier 1991) cf infra.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, européen et international.

Pour soutenir cette collaboration, le Département des S.P.I. et le Ministère des Affaires Etrangères nous ont apporté leurs soutiens sous la forme d'un P.I.C.S. (Programme International de Coopération Scientifique).

Endommagement des composites. Etude par tomographie.

Dans le cadre du GRECO 92 "Comportement mécanique des composites à fibres", nous avons analysé par tomographie l'endommagement en compression dans des composites tissu de verre/résine. Cette recherche a été menée dans le cadre d'une double coopération ; au sein du Laboratoire, tout d'abord, et avec M. J.P. Boehler, de l'Institut de Mécanique de Grenoble.

Equation de comportement viscoélastique.

Si l'on considère les différentes formes mathématiques de représentation du comportement viscoélastique linéaire, on peut observer que, tandis qu'il existe des relations pour déduire de la forme différentielle les autres modes de représentation, la réciproque n'est pas vraie. A partir d'autres fonctions rhéologiques, différents calculs numériques des coefficients des opérateurs différentiels qui définissent cette loi ont conduit à une dispersion des résultats qui jette le doute sur la signification physique de ces coefficients. Nous avons été consultés sur ce point. R.Blanc a repris le problème analytiquement et établi les **relations fondamentales** qui expriment les coefficients de la loi différentielle en fonction des temps de relaxation et de retard. Ces relations expliquent les écarts précédemment observés. Elles montrent en effet que les coefficients de la loi différentielle dépendent **tous** de **tous** les temps de relaxation et de retard. Les calculs numériques d'identification à partir de segments de spectre conduisaient à des résultats qui dépendaient de la fenêtre d'observation.

Méthode par réflexion d'onde.

Nous avons cherché à obtenir les propriétés mécaniques d'un matériau à partir, non plus de l'observation de l'onde qui s'y propage, mais par comparaison des ondes incidente et **réfléchie** par un barreau du milieu étudié dans un barreau élastique, connu, adjacent, équipé des transducteurs convenables. Ce projet a retenu l'intérêt de la DRET qui l'a soutenu (Contrat n° 88/1186). Cette recherche s'achève, ayant pleinement atteint son objet. Cf infra, Situation et perspectives.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, européen, international.

Les recherches conduites dans l'équipe Matériaux et Propagation se situent, on l'a vu, dans l'esprit et dans la lettre de l'O.S.T. 2.3.3. "Comportement Mécanique des Matériaux" du Schéma Directeur. On se propose de les poursuivre dans la perspective de la politique "Matériaux" du Schéma Stratégique 1990-92. La prochaine appellation de l'O.R. 29 devient "Comportement thermoviscoélastique et dynamique des matériaux".

Articulation Programme - Moyens nouveaux.*1) Moyens en jeunes chercheurs (doctorants)*

Un nouveau thésard, M. Sven Ödeen a débuté au Laboratoire le 7 janvier 1991 pour une période de dix-huit mois.

Deux autres thésards sont attendus

- M.Chen-Li, chinois, postulant pour venir préparer son PhD avec R.Blanc. Accord du CNRS du 11.12.90,
- M.Ateba Atangana, attendu le 1.9.91. En relation avec l'ENS des Mines de Saint-Etienne, Pr G. Verchery.

2) Moyens financiers

- Contrat en cours avec l'Aérospatiale.
- P.I.C.S. (Programme International de Coopération Scientifique). 3 ans 1991-93.
- G.d.R. (Groupement de Recherches) "Impact-Matériaux". 4 ans 1991-94.

Programme de recherche.

Nous sommes sollicités de "l'intérieur" par la logique interne de nos recherches fondamentales et de leur évolution, de "l'extérieur" par des offres de contrats, industriels ou non, si bien que s'offrent à nous davantage de sujets de recherche que nous ne pouvons en traiter. Notre règle a donc été de ne sélectionner pour notre programme que les thèmes qui présentent à la fois un intérêt fondamental et appliqué.

Nous poursuivons nos recherches selon deux axes :

- Ondes viscoélastiques transitoires avec application principale à la détermination du comportement dynamique des matériaux,
- Dissipation viscoélastique et comportement thermomécanique des matériaux.

Ondes viscoélastiques transitoires et caractérisation mécanique des matériaux aux fréquences audibles.

Nos recherches dans ce domaine nous ont amené principalement à créer et à développer des méthodes de propagation d'ondes transitoires pour la caractérisation du comportement dynamique des matériaux tels que polymères, élastomères, composites, matériaux nouveaux, etc... L'intérêt de ces méthodes est de venir combler une lacune entre les méthodes vibratoires et ultrasonores. Dans ce domaine, notre programme s'inscrit dans le cadre de la participation au **Groupement de Recherches** (Groupement Scientifique) "**Impact-Matériaux**" et, plus précisément, dans le premier de ses six thèmes de travail **Lois de comportement**.

1) Détermination du comportement dynamique des composites

Les méthodes d'impulsion évoquées ci-dessus sont opérationnelles pour l'étude des milieux isotropes. Il entre dans notre programme de recherche **l'extension de ces méthodes aux matériaux anisotropes**, c'est-à-dire, par excellence, **les composites**.

Pour aborder cette étude, nous avons conclu avec l'Aérospatiale, Centre Commun de Recherches (Suresnes) et Division Hélicoptères (Marignane) un contrat actuellement en cours. Il a pour titre "Caractérisation mécanique de matériaux aux fréquences audibles". Il doit se renouveler sur trois ans.

Ces recherches nous paraissent importantes pour l'équipe. Aussi, est-ce avec intérêt que nous avons saisi l'occasion de l'aborder par une autre voie, à savoir l'offre du Pr G. Verchery, de l'ENS des Mines de Saint-Etienne, d'entreprendre une recherche sur les propriétés mécaniques de câbles composites. Les premiers échantillons reçus au Laboratoire sont des cordons de kevlar. Le Pr G. Verchery se propose d'apporter à cette coopération, à la rentrée 91, un thésard travaillant au LMA, M.A. Atangana.

2) Etude des matériaux bimodulaires

On entend par là des matériaux à modules différents en traction et en compression. Les techniques de propagation d'ondes produites par chocs pourraient fournir pour ces milieux la méthode **unifiée** d'investigation qui fait défaut. Les principaux de ces matériaux se rencontrent encore parmi les composites. Cette recherche intéresse l'Aérospatiale Division Systèmes

Stratégiques et Spatiaux (M. F. Albugues). L'Aérospatiale-Aquitaine a réalisé pour nous et nous a fourni des barreaux de carbone 3D en vue de ces recherches.

3) Mesure du module complexe de compressibilité

Dans le cas de matériaux quasi-incompressibles comme le caoutchouc par exemple, la détermination indirecte au moyen des relations classiques, du module de compressibilité cubique à partir de la mesure d'autres modules, est imprécise. Il faut procéder à sa mesure directe. Pour y parvenir dans la gamme des fréquences sonores, on envisage, entre autres, une méthode de propagation d'ondes sphériques dans des blocs. Exemples d'application caractérisation mécanique d'élastomères à amortissement extrême ou propres à la discrétion acoustique d'objets immergés.

4) Méthode par réflexion

Comme on l'a vu, ce thème a retenu l'intérêt de la DRET qui l'a soutenu. Le contrat vient de se terminer. Conclusions en tous points positives. Cette méthode mérite maintenant d'être développée. Elle pourrait ensuite être étendue, par exemple, à l'étude in situ de milieux difficilement accessibles ou inamovibles.

5) Compression d'ondes de contrainte

En marge des méthodes de caractérisation mécaniques des matériaux, nous nous sommes posé le problème suivant. En milieu viscoélastique linéaire, la forme d'une onde évolue au cours de sa propagation comme conséquence du fait que la vitesse de phase et le coefficient d'amortissement sont des fonctions de la fréquence. Et cela, dans le cadre d'une théorie à une dimension, donc indépendamment de la géométrie du milieu. Nous nous sommes posé la question suivante. Quelle forme faut-il donner en un point à une impulsion pour qu'elle revête à la distance d , telle forme donnée à l'avance ? La solution, lorsqu'elle existe, s'obtient aisément. Nous nous sommes alors demandé peut-on obtenir une compression d'onde, c'est-à-dire une impulsion brève à maximum unique ? Le problème est plus délicat. La solution, c'est-à-dire l'impulsion à l'origine qui engendre une telle impulsion comprimée, se présente sous la forme d'une oscillation modulée qui ressemble à un battement. De telles ondes pourraient donc prendre naissance et se répéter dans les vibrations des structures. Nous

avons publié une approche théorique du problème. Il reste à en développer une étude numérique et expérimentale.

Comportement thermomécanique transitoire des hauts polymères.

Dans un polymère en vibration forcée, tout le travail reçu n'est pas transformé en chaleur. Le défaut de bilan est considérable. Une partie importante du travail reçu est absorbée par des changements de structure interne. Sur le plan purement mécanique, il nous a semblé, de plus, que les propriétés du matériau évoluent en début de sollicitation (pendant quelques centaines ou quelques milliers de cycles ?), puis, que le matériau récupère après un temps de repos suffisant. Il nous paraît du plus haut intérêt de mieux connaître ce phénomène, tant au plan fondamental qu'appliqué. C'est le sujet de la thèse que nous avons confié, en accord avec le Pr B.Lundberg, à M. Sven Ödeen. Pour soutenir cette recherche, le Département des SPI en a fait un PICS (**Programme International de Coopération Scientifique**) avec la Suède. Il porte sur les trois ans à venir 1991-93. Il s'intitule "Comportement thermomécanique transitoire des polymères, élastomères et composites sous chargement cyclique".

OR 38 Mécanique expérimentale.

Le LMA crée une nouvelle Opération de Recherche, l'OR 38 sous la responsabilité de Bernard Scandellari, à laquelle se consacrent un IR2, un IE2 et un demi T1. Cette structure indépendante pourra être amenée à collaborer avec différentes équipes de mécaniciens du Laboratoire. Elle est rattachée à l'équipe Matériaux et Propagation pour laquelle elle commence à travailler pour la réalisation des expériences de thermomécanique qui entrent dans la préparation de la thèse de Sven Ödeen.

Remarque.

Le programme de l'équipe Matériaux et Propagation s'inscrit, on le voit, dans la politique d'ouverture à des partenariats multiples, préconisée par le Schéma Stratégique du CNRS.

Publications

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

B.LUNDBERG and R.BLANC Determination of mechanical material properties from the two-point response of an impacted linearly viscoelastic rod specimen, *Journal of Sound and Vibration*, 1988, Vol 126, N° 1, pages 97-108.

R.BLANC The viscoelastic constitutive differential operator law in terms of the relaxation and retardation spectra, *Rheologica Acta*, 1988, Vol 27, N° 5, pages 482-486.

Publications de conférences à des colloques avec "actes"

R.BLANC, E.GIACOMETTI Thermoviscoelastic behaviour of high polymers an infrared radiometry study. *Proc. IUTAM Symp. on Thermomechanical Couplings in Solids*, H.D. Bui and Q.S. Nguyen, eds, pp. 419-425, Elsevier Sci. Publ. (North-Holland), 1987.

R.BLANC, J.P.BOEHLER et A.CAGNASSO Analyse par tomodynamométrie de l'endommagement en compression dans les composites tissu de verre-résine. 1er Colloque du GRECO 92 "Comportement mécanique des composites à fibres", 2-4 mai 1988, Evian.

R.BLANC Spectrométrie de résines par essais d'impact, 5ème Journée Nationale DYMAT, 14 déc. 1989, Bordeaux, Actes, pages 4.1-4.19. A paraître dans le Journal de Physique III, octobre 1991.

R.BLANC Détermination des propriétés acoustiques des matériaux doués d'amortissement. 1er Congr. Fr. d'Acoust., Vol. I, Colloque de Physique (Supplément au Journal de Physique, Fasc. 2) Colloque C2, suppl. au n° 2, Tome 51, 1990, pp. C2. 65-68.

R.BLANC Determination of the rheological properties of solids using pulse propagation methods, *Proc. 3rd European Rheology Conference, Edimburgh*, D.R. Olivier, ed., pages 57-59, Elsevier Sci. Publ. London, 1990.

Publications de conférences à des colloques sans "actes"

R.H. BLANC Détermination des propriétés mécaniques des solides viscoélastiques aux fréquences audibles par des méthodes d'impulsion, *9ème Congrès Français de Mécanique*, 5-8 sept. 1989, Metz, Actes, Vol 2, pages 556-557.

Thèses soutenues

M. HAJAR Equation d'évolution et bilans énergétiques en viscoélasticité linéaire, étude dans le cadre de la thermodynamique des matériaux à mémoire évanescence, *Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II*, 26 sept. 1988.

Autres manifestations sans actes (séminaire)

R.H. BLANC Thermoviscoelastic Behaviour of High Polymers. An Infrared Radiometry Study, Séminaire "*Mechanical Engineering*", 25 mai 1989, Université de Lulea (Suède).

***B. IMAGERIE ET CARACTERISATION DES
MATERIAUX***

Equipe Imagerie Thermique et Acoustique Quantitative (ITAQ)

Responsable : J.P.LEFEBVRE

Orientation générale

L'équipe ITAQ a été créée le 1er Janvier 1987 et dissoute le 31 Décembre 1990. Le présent rapport à 4 ans couvre donc toute son éphémère existence. Sa problématique se voulait à cheval sur les deux pôles du LMA, l'Acoustique et la Mécanique des solides et des matériaux; son centre d'intérêt étant l'imagerie quantitative, appliquée à la caractérisation des matériaux, qu'il s'agisse de matériaux naturels comme les tissus biologiques (applications relevant du Génie Biologique et Médical) ou de matériaux artificiels comme par exemple les composites (applications relevant du Contrôle Non Destructif). La tendance était au renforcement progressif de l'orientation CND conçue comme une étape transitoire vers la caractérisation des matériaux. Le départ en juillet 89 de J.C.Chezeaux, Ingénieur de Recherches -et son non remplacement- a abrégé l'expérience, l'équipe se réduisant alors à un seul permanent. Des deux OR qu'elle comptait, l'une sur l'imagerie infrarouge, l'autre sur l'imagerie acoustique, seule subsiste désormais la seconde, au sein de l'équipe PAPE.

L'imagerie des matériaux était donc obtenue par interaction avec deux types d'ondes bien différents les ondes acoustiques (imagerie ultrasonore), les "ondes" thermiques (imagerie thermique); les premières, peu amorties, étant adaptées aux contrôles en profondeur, les secondes, au contraire, très amorties et dispersives, aux contrôles superficiels.

Le thème scientifique central de l'équipe était ainsi le Problème Inverse de la propagation et de la diffusion des ondes. Il était abordé sous un angle aussi bien expérimental que théorique, avec la volonté de créer de véritables outils de caractérisation et de contrôle des matériaux. C'est ainsi que l'équipe a pu conduire à leur terme le développement de deux prototypes dont l'élaboration avait été entamée bien avant sa constitution. Il s'agit de deux imageurs numériques, l'un à base d'ultrasons ("scanner" à ultrasons), l'autre à base de rayonnement infrarouge (chaîne thermographique numérique).

0R 091 Imagerie thermique et instrumentation infrarouge.
J.C.Chezeaux, J.P.Lefebvre, H.Caumon

 puis "Imagerie thermique" en 1990 (supprimée en 1991)
J.P.Lefebvre, W.Bismuth, A.Taïeb

Cette opération de Recherche a présenté jusqu'à mi-89 une double activité une activité technologique très importante concrétisée par la réalisation, par J.C. Chezeaux, d'un prototype d'imageur infrarouge numérique très performant architecturé autour d'un PC; une activité scientifique dans le domaine des "ondes thermiques". Cette activité scientifique, démarrée en Janvier 1987, résultait de la réorientation de l'OR du sondage passif (analyse des sources internes de chaleur) au sondage actif (excitation photothermique). Elle n'aura pas eu le temps d'atteindre la maturité (pas de thésards, uniquement des stagiaires de DEA).

Au plan de la technologie infrarouge, le système d'imagerie numérique quantitative, résultat de plusieurs années de recherches du LMA en thermomécanique des solides (thèses de P.Brémont en 1982 et de A.Chrysochoos en 1989), a atteint le stade élaboré du prototype. Rappelons que le système est architecturé autour d'une caméra AGA-780 et d'un PC-AT à mémoire étendue. Il permet l'acquisition en mémoire centrale, en temps réel et sur 12 bits, de 80 trames successives (plus 6 voies auxiliaires). Avant de quitter le LMA, J.C. Chezeaux en a réalisé une copie pour A. Chrysochoos du LMGMCC de Montpellier. Ce dernier l'utilise maintenant comme un outil fondamental d'analyse des matériaux (élaboration des lois de comportement thermomécaniques). En ce qui concerne l'équipe, la valorisation de la chaîne a porté sur les acquis scientifiques antérieurs du LMA, à savoir l'identification de sources de chaleur d'origines mécaniques diverses vibrations de structures (contrat RVI en 1988, responsable J.C. Chezeaux), forage osseux (contrat MRT conclu en 1990 pour des problèmes d'implantologie dentaire, responsable W. Bismuth). Le sursis accordé en 87 à cette activité par la création de l'équipe aura permis de conduire le développement du prototype à son terme. Et même si celui-ci vit désormais plus au LMGMCC qu'au LMA, le bilan global de l'opération, pour le CNRS, est positif.

En ce qui concerne le sondage par "ondes" thermiques, le choix de l'équipe s'est porté sur les méthodes photothermiques impulsives (méthodes "flash") en réflexion, transpositions parfaites de l'échographie étudiée dans l'autre OR de l'équipe. Ce choix était par ailleurs logique après l'incursion de 1986 dans le domaine de la photoacoustique (DEA de G. Rabau). Cette incursion s'était effectuée, rappelons le, en collaboration avec D. Dufresne et P. Giovanecchi (équipe Interaction Laser-Matière de l'IMFM) et J. Burt (université de Montréal) alors en séjour sabbatique au LMA. C'est ce dernier qui a perçu les possibilités dans le domaine du système qu'était en train de développer le LMA (alors seul système sur le marché capable de numériser en temps réel toutes les trames d'une caméra infrarouge) et qui a impulsé cette réorientation. Notre atout principal était donc d'une part notre chaîne d'Imagerie Infrarouge Numérique alors en voie d'achèvement, d'autre part notre expérience dans le domaine du Traitement Numérique des signaux.

Parmi les méthodes photothermiques, nous nous sommes donc intéressés à la radiométrie photothermique, c.a.d. aux méthodes basées sur la mesure du rayonnement infrarouge réémis par les ondes thermiques (terme consacré pour désigner la diffusion de la chaleur) à la surface du matériau (d'autres effectuent des mesures optiques de réfraction de faisceau). Comme la majorité de leurs homologues, nos travaux se sont axés, du point de vue théorique, sur le problème unidimensionnel qui correspond à l'investigation d'un matériau stratifié de faible épaisseur devant les dimensions latérales de la source. Notre apport essentiel a été surtout d'ordre expérimental nous opérons avec une caméra de thermovision infrarouge, c'est-à-dire un imageur rapide, là où les autres opéraient (jusqu'à présent) avec un radiomètre, c'est-à-dire un capteur ponctuel, par balayage mécanique. Le résultat est d'une part qu'une pièce pouvait être inspectée beaucoup plus rapidement, d'autre part que nous étions technologiquement prêts pour le passage au multidimensionnel, qui devait commencer par la prise en compte de la diffusion latérale afin d'améliorer la résolution. Ce résultat était dû aux performances alors inégalées de notre chaîne d'imagerie infrarouge numérique. Notre second apport a été d'ordre algorithmique, avec l'utilisation d'une procédure particulière d'identification de paramètres pour résoudre le problème inverse.

Nous avons choisi de travailler en impulsion, surtout pour une raison de coût de l'appareillage nous utilisons comme générateur un simple flash de photographe amateur de 135 Joules (contre plusieurs kiloJoules pour les équipes concurrentes). Notre choix était donc celui des méthodes photothermiques impulsives ou "méthodes flash". Le Problème Inverse de la Diffusion de la Chaleur étant particulièrement mal posé, il valait mieux, pour commencer, ne pas être trop ambitieux et se fixer comme les autres des contraintes importantes, du type connaissances a priori sur le milieu. Nous avons choisi le cadre très réduit, mais non dénué d'intérêt pratique,

des matériaux stratifiés comportant un nombre connu (et limité) de couches d'épaisseur connue, pour lesquels des formulations analytiques du problème direct peuvent être élaborées (sur ce point, nous nous sommes contentés de reprendre les calculs de D. Balageas à l'ONERA). Nous avons progressé pas à pas dans le problème de l'inversion sous contraintes, en partant du plus simple (le monocouche) et en allant vers le plus compliqué (le multicouche). Etant donné le type de contrainte choisi, l'inversion revenait à une identification de paramètres (en nombre de plus en plus importants) dans un modèle analytique. L'algorithme utilisé pour identifier les paramètres laissés "libres" (les autres étant fixes, supposés connus a priori) était l'algorithme de Levenberg-Marquardt. Ce choix nous avait été suggéré par S. Bellizi, de l'équipe Absorption Active Adaptive.

Nous avons réussi, en un premier temps (DEA de R.Nguyen Van Lan en 1988), à identifier avec une assez bonne précision la diffusivité thermique d'un échantillon monocouche très mince (quelques dixièmes de millimètre seulement) et de faible chaleur spécifique (du PVC en l'occurrence). Nous nous sommes ensuite intéressés (DEA de P.Van Cuyck en 1989) à la qualification d'un revêtement et de son adhésion sur un substrat connu, c'est-à-dire à un bicouche avec résistance de transfert. Les expériences ont été faites avec une couche d'acétate de cellulose (rhodoid) de 0,11mm d'épaisseur posée sur une couche de PVC de 0,29 mm d'épaisseur, avec pour assurer le contact thermique entre les deux, un mince film de graisse aux silicones. L'adhésion est donc modélisée par le film de graisse, et un défaut d'adhésion par une bulle, c.a.d. un film d'air. La conclusion est que la méthode est encore dans ce cas quantitativement fiable, mais qu'elle est particulièrement sensible à la précision des données sur les contraintes (il faut en particulier connaître assez précisément les caractéristiques physiques du matériau constituant le substrat).

OR 212 Imagerie par ultrasons (ex "Scanner à ultrasons" en 1987)
J.P.Lefebvre, S.Mensah, P.Recotillet, P.Lasaygues.

Cette opération de recherche est centrée sur le problème inverse de la diffusion des ondes ultrasonores. Notre intérêt s'est d'abord porté sur l'investigation des matériaux biologiques (applications du type Génie Biologique et Médical) dont la particularité est d'être très peu hétérogène (variations locales des constantes élastiques de l'ordre de quelques pour cent seulement), ce qui permet de linéariser le problème inverse. C'est la méthode IBA (Inverse Born Approximation) qui conduit à des algorithmes de reconstruction du même type que ceux utilisés en tomographie par rayons X. Afin de prolonger l'échographie, notre choix s'est porté sur

l'imagerie en réflexion, plus précisément en rétrodiffusion. Le paramètre reconstruit est ainsi la réflectivité du milieu. Pour les matériaux biologiques, une méthode IBA à fond constant (constant background) suffit. Par contre, pour les matériaux industriels, il faut (au moins) avoir recours à une IBA à fond variable (variable background). Enfin, les signaux utiles étant dans ce dernier cas particulièrement faibles, c'est à un problème de traitement du signal qu'on a alors été confronté.

Tomographie de réflectivité à fond constant (thèse de S.Mensah, Mars 1990).

On montre que les acquisitions, provenant de tirs à large bande sous incidences variées, réalisent des "coupes" dans le plan de Fourier spatial de l'objet. Ceci fait immédiatement penser à la Tomographie X classique; et la méthode de reconstruction qui vient à l'esprit (c'est la plus utilisée) et que nous avons adoptée est celle de la sommation des rétroprojections (ou épandages) des projections (les transformées inverses des coupes, c'est-à-dire les données temporelles elles-mêmes) filtrées. C'est la méthode IBA à fond constant, plus précisément la tomographie de réflectivité à fond constant.

La mise en oeuvre pratique (aspects numériques et expérimentaux) de cette tomographie de réflectivité a constitué la première partie de la thèse de S. Mensah. Il a développé pour ce faire un algorithme original, version améliorée de l'algorithme standard par adjonction d'un filtre passe-bas non linéaire agissant sur l'information étalée sur le "cercle des contributions" associé à la reconstruction d'un pixel. On élimine ainsi les contributions parasites qui se traduisent en général par une localisation très ponctuelle sur ce cercle.

La deuxième partie de la thèse de S.Mensah a été consacrée à l'amélioration de la résolution, par extrapolation de la bande spectrale du côté des hautes fréquences. C'est la tomographie de réflectivité haute résolution. La technique choisie met en oeuvre des algorithmes de déconvolution par filtrage de Kalman élaborés par le L2S (équipe de G.Demoment). Des images d'une grande finesse ont été obtenues sur un oeil excisé.

Tomographie de réflectivité à fond variable (thèse de P.Recotillet).

Il s'agissait de passer des applications médicales au Contrôle Non Destructif, c.a.d. à des milieux très fortement inhomogènes. Si on

s'intéresse à nouveau à la rétrodiffusion par les faibles inhomogénéités (auxquelles on assimile donc les défauts) d'une pièce dont on connaît par ailleurs la nature et la forme, plongée dans un liquide de couplage en l'occurrence de l'eau (contrôle en immersion) on montre qu'on peut, par une procédure analogue à la précédente, remonter à la réflectivité du défaut, donc à sa position et à sa forme. C'est la tomographie de réflectivité à fond variable (variable background).

On s'est intéressé au contrôle en immersion d'un milieu stratifié plan comportant quelques couches, le défaut étant recherché dans la dernière couche. L'intérêt de ce problème était d'une part de correspondre à un problème industriel réel (recherche de défaut sous revêtement, problème proposé par la Direction des Etudes et Recherches d'EDF), d'autre part de posséder une fonction de Green du problème non perturbé (c.a.d. la pièce sans défaut) calculable analytiquement.

La démarche a été la même que précédemment on a écrit le problème comme la perturbation d'une référence la pièce sans défaut immergée. Cette référence était donc cette fois-ci inhomogène. On a ensuite écrit les systèmes d'équations aux dérivées partielles que devaient vérifier le champ en l'absence de défaut et le champ en présence de défaut; puis l'équation intégrale de Lippmann-Schwinger que devait satisfaire le champ diffusé par le défaut. On a ensuite résolu cette équation par itérations, en s'arrêtant à l'ordre un, l'approximation de Born. On est alors arrivé à une relation du même type que précédemment, liant la transformée de Fourier temporelle du champ diffusé à grande distance à la transformée de Fourier spatiale de la perturbation, c'est-à-dire du défaut.

Une transformation des données, interprétable physiquement comme la correction des effets de réfraction et d'accélération-décélération des ondes à la traversée des interfaces, a permis enfin de se ramener au cas de figure précédent, et donc d'utiliser les algorithmes déjà mis au point pour l'IBA à fond constant. La méthode a été testée pour commencer numériquement (simulations); puis expérimentalement, sur un défaut artificiel d'abord (trou dans une pièce en plexiglas), sur un défaut réel ensuite (fissure sous revêtement dans une pièce en acier de 10 cm d'épaisseur). Les résultats obtenus ont été très encourageants, malgré la difficulté majeure due au fait que le signal utile est environ 1000 fois plus faible que les échos d'interface eau-acier. Ces derniers sont donc saturés lorsqu'on procède à l'acquisition des signaux utiles, ce qui a pour effet de dégrader les images.

A.CHRYSOCHOOS, A.CAUMON, J.C.CHEZEAUX, "Analyse thermomécanique des lois de comportement par thermographie infrarouge", Revue de Physique Appliquée, 1989.

J.C.FRANQUIN, A.TAIEB, L.BENHAÏM, J.C.CHEZEAUX, W.BISMUTH, "Méthode de mesure par téléthermométrie infrarouge des élévations de température en implantologie", L'Information Dentaire, n°24, pp.2083-2092, 1989.

Publications de conférences à des colloques avec actes

J.P.LEFEBVRE, "A linearised inverse problem acoustic impedance tomography of biological media", Electromagnetic and Acoustic Scattering Detection and Inverse Problem, pp.287-301, C.BOURELY et al Ed., World Scientific, Singapore, 1989 (actes du colloque "Diffusion Electromagnétique et Acoustique, Détection et Problème Inverse", Marseille, 31 Mai - 3 Juin 1988).

P.RECOTILLET, J.P.LEFEBVRE, "Passage du fond homogène au fond hétérogène en tomographie ultrasonore en réflexion", 1er Congrès Français d'Acoustique, pp.C2 303-306, Lyon, 10- 13 Avril 1990.

J.P.LEFEBVRE, P.RECOTILLET, "Imagerie de défauts dans des pièces planes par tomographie ultrasonore", 1er Congrès COFREND, Nice, 6-9 Novembre 1990.

Publications à des colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

P.RECOTILLET, J.P.LEFEBVRE, "La tomographie ultrasonore en réflexion cas particulier d'un objet enfoui", 9ème Congrès Français de Mécanique pp.482-83, Metz, 5-8 septembre 1989.

Thèses soutenues

S.MENSAH (Ingénieur Digilog) "Tomographie ultrasonore en réflexion, application à l'imagerie médicale", Nouvelle Thèse, Université d'Aix-Marseille II, 28 Mars 1990.

Rapports de fin de contrat

P.RECOTILLET, S.MENSAH, P.LASAYGUES, J.P.LEFEBVRE, "Tomographie ultrasonore assistée par ordinateur (scanner à ultrasons)", ANVAR, convention APIES, n° J 87 09 075 UJS, Octobre 1989.

J.P.LEFEBVRE, P.RECOTILLET, "Etude par tomographie ultrasonore d'une fissure sous revêtement", EDF-DER, convention P11 417802, Juillet 1990.

Notes ou rapports internes

J.P.LEFEBVRE, "Problèmes inverses de diffusion et de propagation en imagerie et contrôle des matériaux quelques résultats théoriques et expérimentaux", Conseil Scientifique du LMA, Marseille, 14 Novembre 1989, note interne.

J.P.Van CUYCK, "Ondes thermiques et matériaux stratifiés", DEA d'Acoustique et dynamique des vibrations, Université d'Aix-Marseille II, Juin 1989.

P.LASAYGUES, "Prétraitement des données en échographie ultrasonore", DEA d'Acoustique et dynamique des vibrations, Université d'Aix-Marseille II, Juin 1989.

***C. CONTROLE ACTIF VIBRO-ACOUSTIQUE &
DYNAMIQUE DES VIBRATIONS***

Equipe Absorption Active Adaptative (A.3.)

Responsable : R. BOUC

Orientation générale

Les travaux de l'équipe A.3. sont principalement orientés vers le développement de techniques d'absorption active tant acoustique que mécanique (contrôle actif du bruit et des vibrations).

Ses activités sont à la fois théoriques, pour la recherche, la mise au point d'algorithmes, la simulation, l'implantation sur processeurs rapides et, pratiques, pour la réalisation d'architectures spécifiques et d'expérimentations industrielles.

Depuis quelques années l'accent est mis plus particulièrement sur la mise au point d'algorithmes de contrôle actif adaptatif multivoies ; de 1 à 8 capteurs de contrôle et de 1 à 8 sources antagonistes.

Ces méthodes sont applicables à des signaux périodiques ou large bande, instationnaires lentement évolutifs.

Le traitement numérique destiné à gérer les signaux antagonistes peut se faire de manière synchrone, à partir d'une prise d'information analogique sur ou à proximité de la source primaire, ou asynchrone et ceci en fonction des caractéristiques des signaux à traiter.

OR 160 Absorption acoustique active

A.Albarrazin, R.Bouc, A.Delinière, F.Guintoli,
O.Lagarrigue, A.Livadaris, P.Lucet, A.Roure

Depuis environ 1 an, l'équipe s'est dotée d'un système d'Absorption Actif multi-voies à vocation générale. Ce système est constitué d'un ensemble de capteurs de commande (microphones, hydrophones, accéléromètres...), d'actuateurs ou actionneurs (haut-parleurs, pots électro-dynamiques, vérins hydrauliques...) destinés à produire les contre-sources et d'un microprocesseur nécessaire au pilotage de l'ensemble, via un algorithme de minimisation de l'énergie acoustique ou vibratoire au niveau des capteurs de commande. Le système utilise l'algorithme LMS avec référence filtrée. Le microprocesseur utilisé est un TMS 320C25 monté sur une carte enfichable dans un PC. Celle-ci est munie de 2 modules de conversion AD et DA de 8 voies chacun.

Les axes principaux de recherche concernent principalement la minimisation dans des volumes de l'espace, habitacle de véhicules par exemple.

Réduction du bruit moteur et du bruit de sculpture de pneumatiques à l'intérieur d'un véhicule routier

Avec un système 2x2 voies on peut minimiser de 10 à 20 dB, suivant la fréquence, le bourdonnement moteur ou le bruit dû aux défauts de sculpture des pneumatiques, dans une zone entourant la tête du conducteur. L'algorithme est apte à suivre des variations rapides du régime moteur. En ce qui concerne les pneumatiques ce travail a fait l'objet d'un contrat de recherche avec Michelin et donné lieu à une expérimentation en vraie grandeur sur un véhicule équipé roulant sur piste.

Silencieux actif pour bouche d'échappement

En plaçant une seule source de contre-bruit dans une couronne circulaire entourant l'embouchure du tuyau on peut obtenir une atténuation tridimensionnelle à l'extérieur de l'ordre de 10 à 20 dB suivant la fréquence. Une application spécifique a été effectuée à la demande de la

SNECMA sur une soufflante de réacteur à l'aide d'une couronne de sources. Les essais de faisabilité en vraie grandeur sur banc d'essais ont permis de montrer qu'il était possible de modifier substantiellement la directivité du réacteur pour que des applications industrielles soient envisageables.

Insonorisation d'un poste de travail en champ réverbérant

En entourant un poste de travail avec 3 ou 4 actuateurs et capteurs, on peut créer une zone de minimisation appréciable (20 à 30 dB de 100 à 300 Hz dans un tétraèdre de 80 cm d'arête) .

Ecran actif pour machine bruyante

C'est le problème inverse du précédent. On entoure la machine de N sources et capteurs et la minimisation se fait à l'extérieur (10 à 20 dB dans tout l'espace suivant les cas).

Réduction active du bruit d'hélices dans un avion moyen porteur

Le LMA participe avec d'autres laboratoires français et étrangers à un contrat BRITE-EURAM sur ce sujet. Les travaux sont en cours et les négociations pour la phase suivante sont déjà entamées.

Acoustique structurale active (vibro-acoustique active)

Avec la Société SECAV et la DCAN nous avons montré la faisabilité de la minimisation du rayonnement acoustique d'une plaque métallique raidie soumise à un champ acoustique diffus, par action mécanique sur la structure, pilotée par les signaux d'erreur fournis par des microphones situés dans la zone de transmission.

Nous continuons cette étude d'isolation active dans le cadre de la thèse de O. Lagarrigue (bourse DCAN/CNRS). Notre objectif est d'obtenir des résultats d'isolation comparables à ceux que nous avons déjà observés en minimisant sur des microphones situés dans le local de réception, mais cette fois-ci avec des *actions et des prises d'information purement mécaniques* sur la structure rayonnante.

Nos activités 1990 ont porté principalement sur le thème général de la *Dynamique Stochastique non-linéaire* avec applications aux véhicules routiers

Confort Dynamique et Suspensions Actives et Semi-Actives pour Véhicules Routiers

Dans ce domaine quatre thèmes ont été abordés, l'un ayant trait au "Confort Dynamique et Suspensions Semi-actives de Véhicules Routiers (siège, cabine de poids-lourd)", l'autre au "Calcul et Adaptation de Lois de Commandes Optimales par la mise en oeuvre d'un Algorithme de type Gradient Stochastique", le troisième au "Contrôle Actif et Semi-Actif des Suspensions de Groupes Moto-Propulseurs (GMP)", le dernier étant un problème d'identification de loi de comportement dynamique des mousses polyuréthanes.

Les deux premiers thèmes font l'objet d'un contrat tripartite LMA-INRIA-RENAULT-RECHERCHE le troisième est le sujet de thèse de E. Friot (bourse CIFRE Renault) et le dernier a fait également l'objet d'une action avec RENAULT-RECHERCHE.

1- Confort Dynamique et Suspension Semi-active de Véhicules Routiers

L'étude d'un contrôle pour une suspension semi-active non-linéaire à un degré de liberté (formée d'un ressort, d'un frotteur, d'un amortisseur à caractéristiques variables supportant la masse à isoler) a permis de dégager une classe de lois de commande, en terme de coefficient d'amortissement instantané (contrôle paramétrique), montrant l'intérêt, pour le confort dynamique, d'un système de suspension semi-active par rapport à un système purement passif (amortisseur à coefficient constant). L'expérimentation a eu lieu chez le constructeur recoupant les résultats de simulations.

Nous avons abordé ensuite le problème de contrôle associé à la liaison châssis/cabine de poids lourd, équipée de quatre plots de suspension agissant dans les trois directions et munis, chacun, dans la direction verticale, d'un amortisseur à caractéristiques variables. Ici, le critère à minimiser est défini par une pondération en fréquence des composantes longitudinale, transversale et verticale de l'accélération au "point thorax chauffeur" et les sollicitations dans les directions transversale et verticale

proviennent de mesures effectuées sur un camion roulant à vitesse constante sur un parcours de type "mauvaise route".

Nous avons développé une stratégie semi-active comme la projection, sur le domaine des valeurs admissibles de l'amortisseur à caractéristiques variables, de la solution optimale du problème de contrôle linéaire actif (suspensions équipées de générateurs de force) avec sollicitations aléatoires de type "bruit blanc". Pour éviter un couplage global des six degrés de liberté nous résolvons plusieurs problèmes de contrôle linéaires associés à des modèles réduits plans. Comme pour le système à un 1 DDL, la classe des lois de commande est fonction d'un jeu de paramètres et de quantités que l'on peut mesurer sur la structure. Un gain significatif est obtenu sur le terme vertical du critère et dans la bande 0 - 4 Hz. Le terme transversal du critère est peu sensible aux lois du fait du peu d'atténuation des "modes" dominant transversaux. La mise en oeuvre d'un contrôle modal permettra de déterminer si tous les modes peuvent être atténués.

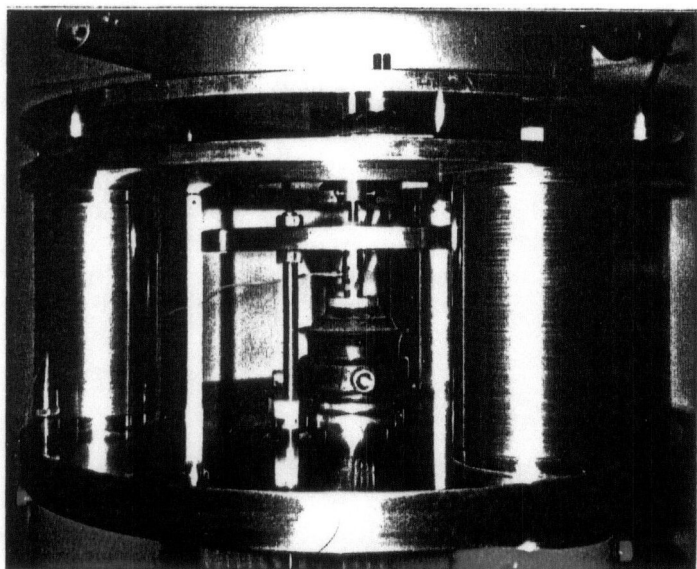
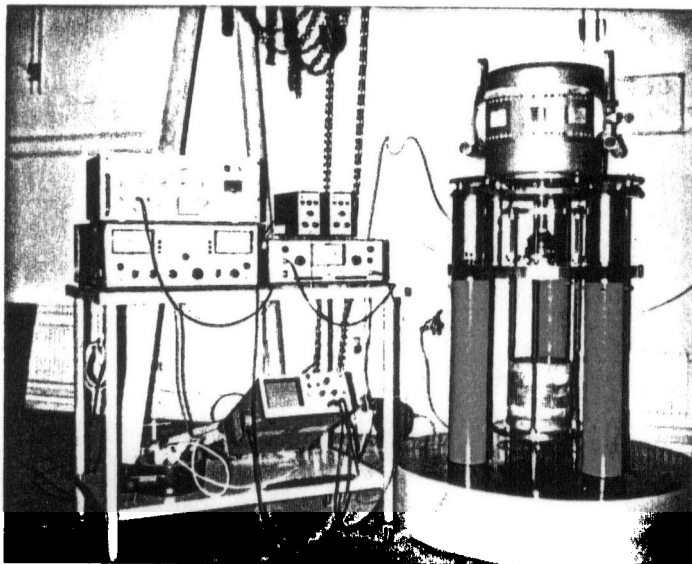
2-Calcul et Adaptation de Lois de Commandes Optimales par l'Algorithme du Gradient Stochastique

Un première approche du contrôle adaptatif a consisté à poursuivre un système linéaire (dit de référence) satisfaisant pour le confort dynamique. Pour cela les paramètres intervenant dans la loi de commande sont mis à jour, en ligne, de telle sorte que le système de référence constitue le système contrôlé linéarisé.

Un calage des paramètres de la commande est actuellement à l'étude par mise en oeuvre d'algorithmes de type gradient stochastique. La difficulté réside en la présence des non-linéarités (contrôle paramétrique et frottement sec) et dans la dépendance en paramètre de la loi de probabilité définissant le critère à minimiser.

3- Contrôle Actif et Semi-Actif des Suspensions de GMP

Les plots de suspension du Groupe Moto-Propulseur (GMP) d'une automobile permettent à la fois le contrôle des débattements du moteur (excité notamment par les irrégularités aléatoires de la chaussée) et le filtrage des vibrations qu'il transmet à l'habitacle (elles-mêmes sources de bruit) ; le recours à des plots actifs ou semi-actifs



Banc d'essais de plots de suspension de groupe moto-propulseur réalisé au L.M.A.

permet d'améliorer ce compromis entre contrôle du débattement et confort dynamique.

L'architecture des suspensions actuelles et les actionneurs disponibles pour un montage sur véhicule amènent en fait à considérer deux problèmes de contrôle pour l'optimisation active des mouvements verticaux de l'ensemble moteur/caisse. D'une part la modélisation complète d'un quart de véhicule, de la route et de l'excitation moteur permettent, à partir d'un critère d'optimisation bien choisi, d'appliquer la théorie usuelle du contrôle optimal linéaire. On obtient ainsi des lois de rétroaction explicites et l'on peut estimer les prestations offertes par des suspensions actives "idéales". D'autre part l'utilisation possible en série de plots hydroélastiques semi-actifs (incluant un "bateur" de caractéristiques pilotables) conduit à considérer un problème de contrôle cette fois non linéaire. On recherche dans ce cas des lois de commande empiriques à l'aide de simulations numériques, en s'inspirant des lois obtenues pour le contrôle actif linéaire.

4 - Identification d'une loi de comportement dynamique uniaxiale des mousses polyuréthanes

L'optimisation d'un siège de véhicule passe par une bonne connaissance de la loi de comportement dynamique des mousses polyuréthanes, qui en constituent l'assise. Un banc d'essai de caractérisation dynamique de ce matériau fortement non linéaire a été mis en place au laboratoire. Un modèle de comportement comportant en parallèle un frotteur et un amortisseur visqueux a été étudié. L'identification du modèle est basée sur la comparaison expérience - calcul des courbes de transmissibilité d'accélération pour plusieurs niveaux de l'accélération d'entrée (processus aléatoire stationnaire dans la bande 2 - 12 Hz). Cette façon de procéder permet de bien séparer l'amortissement par viscosité de l'amortissement par hystérésis.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, européen, international.

L'équipe A.3. du L.M.A. est leader en France depuis de nombreuses années dans le domaine de l'absorption acoustique active.

Sur le plan national l'équipe collabore entre autres avec l'Ecole Centrale de Lyon, la Direction des Etudes et Recherches de l'E.D.F. et la Société MATRA.

Le L.M.A. est actuellement co-partenaire d'un contrat européen BRITE pour la minimisation du bruit dans les cabines d'avion, projet ASANCA, qui regroupe des industriels (Dornier, Saab, Fokker, Matra), et des universitaires avec, entre autres, le Laboratoire hollandais T.P.D., l'Université de Louvain et l'Instituto Superior Tecnico du Portugal.

Les techniques actives prennent actuellement beaucoup d'importance et de nombreuses industries sont intéressées ; l'équipe A.3. entretient des relations contractuelles et de travail avec Renault et Michelin en France, la direction des recherches FIAT en Italie, Mitsui Engineering and Shipbuilding (M.E.S.) au Japon.

Les perspectives actuelles de l'équipe sur 2 ans portent principalement sur la réalisation d'un banc d'essais comportant un groupe moto-propulseur dont les suspensions intégreront des vérins hydrauliques destinés à minimiser les vibrations.

Le coût de l'équipement hydraulique (4 vérins minipuls et centrale de commande de marque Schenck) est de 1.5 MF. Cette opération est soutenue par le SPI, la région PACA, Renault, et fait l'objet d'un contrat de recherche MRT.

Publications 1989-90

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

M.A.KARRAY, R. BOUC Etude dynamique d'un système d'isolation anti-sismique. Les Annales de l'ENIT, janvier 1989, vol 3 n° 1

Publications de conférences à des colloques avec "actes"

S.BELLIZZI, R.BOUC Adaptive control for semi-active isolators, ASME Technical Conference, 12th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, Montréal, Québec (Canada), septembre 1989.

A.FRANCES, G.CHATEL, A.ROURE Analyse du rayonnement acoustique d'une plaque avec contrôle actif de l'amplitude des premiers modes, 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, Lyon, France, Les Editions de Physique, C2-205

G.CHATEL, A.FRANCES, A.ROURE, Active control of airborne noise transmitted through a ribbed-panel, Inter-Noise 90, 13-15 août 90, Göteborg, Suède

A.ROURE Derniers développements de l'atténuation acoustique active au L.M.A., Journée Thématique sur le Contrôle Actif Acoustique et Vibratoire, S.F.A., 16-17 octobre 1990, Vaulx-en-Velin, France

S.BELLIZZI, R.BOUC Contrôle semi-actif de suspensions, Journée Thématique sur le Contrôle Actif Acoustique et Vibratoire, S.F.A., 16-17 octobre 1990, Vaulx-en-Velin, France

Publications de conférences à des colloques sans "actes"

S.BELLIZZI, F.CAMPILLO Contrôle stochastique - Applications aux suspensions de véhicules routiers Rencontre Franco-Belge de statisticiens, novembre 1990, CIRM, Marseille, France

Thèses soutenues

B.MASSOUTI Contribution à la réalisation en temps réel de la séparation des composantes acoustique et turbulente d'un signal microphonique, Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II, 28 juin 1989.

S. BELLIZZI :

- "Méthodes de simulation numérique des sollicitations"
- "Démonstration d'un logiciel d'analyse spectrale et de simulation de processus"

R. BOUC :

- "Vibrations aléatoires des systèmes discrets non linéaires"
- "Dynamique stochastique des véhicules routiers"
- "Modélisation instationnaire des sollicitations sismiques et des réponses associées" dans Cours de "l'Institut pour la Promotion des Sciences de l'Ingénieur (I.P.S.I.) - Méthodes probabilistes appliquées à la dynamique des structures, mars 1990"

Rapports de fin de contrats

Calcul d'un contrôle semi-actif de suspension de véhicule (cas d'une cabine de camion) - Régienov - 1989 et 1990

Identification du comportement dynamique des mousses polyuréthanes - Renault - 1990

Contrôle actif, dans un véhicule, du bruit de sculpture de pneumatiques - Michelin - 1990

Equipe Dynamique des structures (D.S.)

Responsable : G.DELFOSSE

Orientation générale

Les activités de l'équipe de Dynamique des Structures sont axées principalement sur l'étude de la réponse linéaire et non linéaire des structures soumises à des vibrations de basse fréquence du type séisme. Le champ de recherche ainsi défini englobe de nombreux sujets et notamment :

- la réponse des structures de bâtiment soumis à un séisme ;
- la stabilité ultime d'une structure sur appuis caoutchouc-acier ;
- la modélisation par éléments finis des appuis caoutchouc-acier ;
- la recherche de nouveaux procédés d'amortissement des vibrations à basse fréquence et la modélisation de l'amortissement.

Ces sujets de recherche trouvent leur expression à travers deux OR :

- l'OR 26, Dynamique des Structures à Basse Fréquence.
- l'OR 261, Amortissement à Basse Fréquence.

La Basse Fréquence est le dénominateur commun à ces deux OR qui sont, par ailleurs, très complémentaires. En effet, le contrôle de la dynamique d'une structure passe, pour une grande part, par le contrôle de l'amortissement. L'isolation d'une structure vibrant à basse fréquence avec excitation de type sinusoïdal ou sismique passe, au premier chef, par l'abaissement de la fréquence propre fondamentale et, de façon corollaire, par l'augmentation de l'amortissement.

Les travaux de l'équipe D.S. englobent également l'étude du matériau composite (caoutchouc-acier) que sont les appuis parasismiques.

L'équipe possède un important équipement expérimental permettant l'élaboration d'expériences à une échelle réaliste ; citons :

- la table vibrante de 2,00 x 2,00 pouvant recevoir des structures pesant jusqu'à 12000 N avec une accélération horizontale unidirectionnelle de 1 g ; excitation de la table par signaux sinusoïdaux ou sismiques ;
- le simulateur de séismes constitué par un petit bâtiment à 2 niveaux de 54 m² au sol et monté sur appuis caoutchouc-acier. Un système de vérin hydraulique permet de déplacer la construction jusqu'à 12 cm et, par relaxation de la pression, de le mettre en vibrations libres à grande amplitude sur sa fréquence propre ;
- un système d'essais statiques comportant un portique de 3 m sous traverse permettant d'essayer des structures sous des efforts simultanés allant jusqu'à 1000 KdaN en compression et 300 KdaN en cisaillement.

OR 26 Dynamique des Structures à Basse Fréquence

G.Delfosse, B.Scandellari, J.P.Romieu

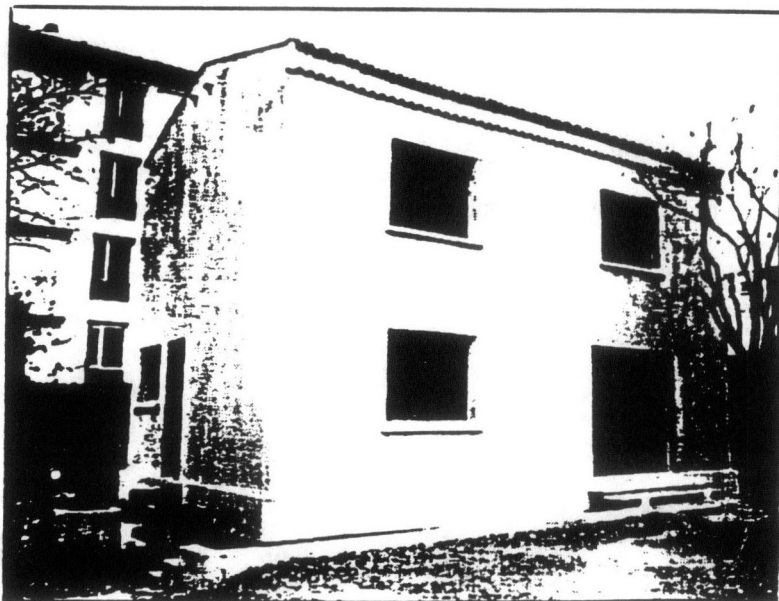
I. ESSAIS DYNAMIQUES SUR LE SIMULATEUR DE SEISMES.

Photo 1. Vue d'ensemble du simulateur de séismes.

Le simulateur de séismes se présente sous la forme d'une villa à deux niveaux de 9,10 m x 5,80 m en plan (photo 1.) Elle comporte au rez-de-chaussée, comme à l'étage, une salle de 29 m² et deux pièces de 8 m² environ. L'aspect général est celui d'une construction de style provençal. La construction est posée sur 8 isolateurs disposés entre les fondations et le plancher bas du rez-de-chaussée. Chaque isolateur mesure 300 mm de diamètre et comprend deux modules superposés et boulonnés entre eux, chaque module étant constitué par 16 couches de caoutchouc de 7 mm fortement adhérentes à 15 plaques intercalaires en acier de 4 mm d'épaisseur et à deux plaques d'extrémité en acier de 12 mm d'épaisseur. La masse de la villa est estimée à 118 tonnes.

Les essais ont été effectués sur le bâtiment à l'aide d'un vérin hydraulique exerçant une poussée horizontale au niveau du premier plancher ; la souplesse relative des isolateurs permettait ainsi d'imprimer à la construction un déplacement initial variant de 8 à 12,5 cm ; la brusque relaxation de la pression dans le vérin, mettait l'immeuble en vibrations libres et l'enregistrement du mouvement sur table traçante permettait de mesurer les caractéristiques dynamiques du bâtiment.

Deux types d'essais furent effectués :

- sans dissipateurs d'énergie ;
- avec dissipateurs d'énergie.

Nous ne traitons dans l'OR 26 que les essais sans dissipateurs, les essais avec dissipateurs étant rapportés dans l'OR 261.

Essais sans dissipateurs d'énergie

Une soixantaine d'essais ont été effectués sans dissipateurs d'énergie. La figure 1 montre un exemple d'enregistrement du déplacement en fonction du temps et le tableau 1 donne le résultat des onze essais les plus significatifs.

La moyenne des périodes propres obtenues est de 1,67 s, tous déplacements initiaux confondus et la moyenne de l'amortissement visqueux équivalent de 8,8 %.

La période propre est directement mesurée sur l'enregistrement comme l'intervalle de temps séparant les deux premiers pics ; l'amortissement visqueux équivalent est calculé par la formule du décrément logarithmique

$$\xi = \Delta / \sqrt{4\pi^2 + \Delta^2}$$

avec $\Delta = \text{Ln} (A_0 / A_1)$

A_0 et A_1 étant les amplitudes respectives du premier et du second pic.

A titre de comparaison, des essais ont été effectués sur la table vibrante du L.M.A. avec un bloc en béton d'une masse de 1208 kg posé sur 4 isolateurs de diamètre 80 calculés pour donner une période propre voisine de celle du simulateur de séismes. La figure 2 montre un enregistrement du déplacement en vibrations libres réalisées par une technique simple de

"pousser-lâcher" ; les valeurs obtenues, respectivement pour la période propre et l'amortissement, sont :

$$T = 1,56 \text{ s} ; \xi = 6,19 \%$$

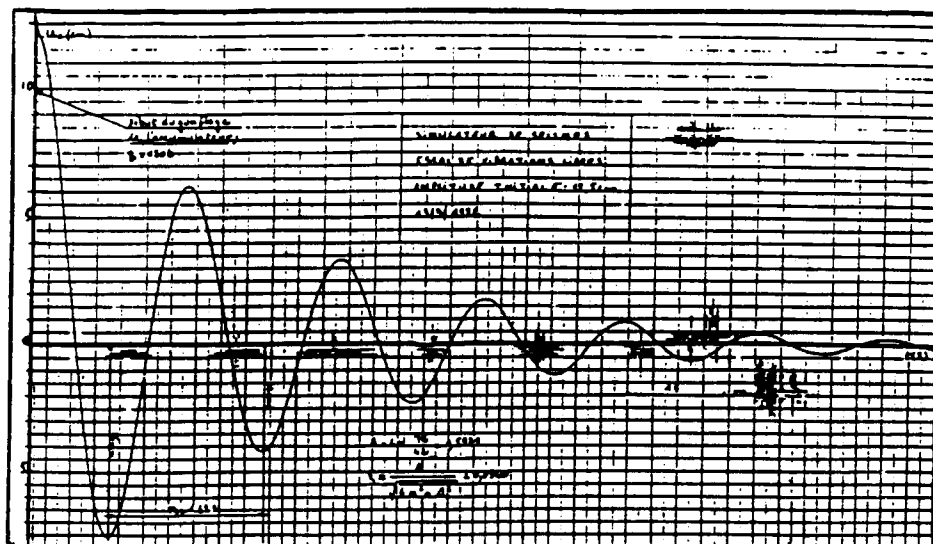


Figure 1. Simulateur de séismes. Enregistrement du déplacement en fonction du temps sans dissipateurs d'énergie.

REF. REACT.	DATE DU TEST	DEPLACEMENT INITIAL U_0 (cm)	PERIODE PROPRE T_0 (s)	AMORTISSEMENT VISQUEUX EQUIVALENT $\xi(\%)$	ACCELERATION MAX. NIVEAU 1er PLAN \ddot{U}_0 (g)
1	13-3-86	12.3	1.71	9.40	0.17
2	23-6-86	10.5	1.72	7.65	0.14
3	12-6-86	10.4	1.67	7.77	0.13
4	23-6-86	10.4	1.73	8.18	0.13
5	12-6-86	10.2	1.67	8.44	0.14
6	13-3-86	10.0	1.79	10.37	0.12
7	10-10-86	10.0	1.67	8.30	0.14
8	13-11-86	8.5	1.61	9.25	0.13
9	15-3-87	8.1	1.56	10.79	0.13
10	12-6-86	7.0	1.58	8.52	0.11
11	23-6-86	6.2	1.64	8.16	0.09

Tableau 1. Simulateur de séismes. Résultats des 11 essais les plus significatifs sans dissipateurs d'énergie.

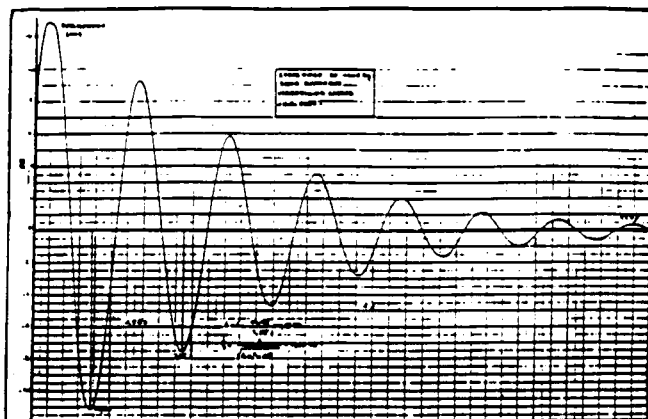


Figure 2. Modèle de 1208 kg en vibrations libres. Enregistrement du déplacement en fonction du temps sans dissipateurs d'énergie.

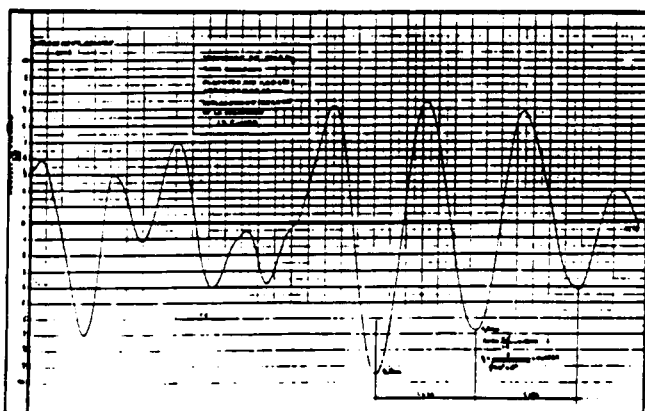


Figure 3. Modèle de 1208 kg. Déplacement relatif de la base de la structure sous l'action du séisme d'El Centro (1940) avec une accélération maximale de 0,4 g au sol.

Ces valeurs sont voisines de celles obtenues par le simulateur de séismes ($T = 1,67$ s et $\xi = 8,8$ %) et les caractéristiques dynamiques des deux structures sont donc voisines. On peut donc considérer, avec une bonne approximation, que le montage avec bloc de béton est un modèle du simulateur de séismes. L'intérêt du modèle est qu'il peut faire l'objet d'essais sismiques directement sur table vibrante, lesquels sont interdits par la masse et l'encombrement du simulateur de séismes. Le bloc en béton a donc été soumis à l'excitation représentée par le séisme qui eût lieu à El Centro (Californie) en 1940 avec une accélération maximale du sol de 0,4 g au lieu de 0,35 g pour le séisme réel. La figure 3 montre un extrait de l'enregistrement du déplacement horizontal de la base du modèle par rapport à la table vibrante (déplacement dit relatif). On peut remarquer une

très grande analogie entre le tronçon de courbe situé sur la partie inférieure droite de la figure 3 et le tronçon sur la partie inférieure gauche de la figure 2. Les amplitudes sont du même ordre (environ 10 cm) et surtout, on observe, dans les deux cas, une décroissance des vibrations de type exponentiel en $A_0 \exp. (-2\pi\xi t/T_0)$, T_0 étant la période propre fondamentale et A_0 l'amplitude initiale.

C'est là un aspect très important du comportement des structures montées sur un système d'isolation à la base ; il semble, en effet, qu'au moment où le déplacement relatif atteint son maximum, la structure impose son comportement propre, indépendamment de l'excitation extérieure. La structure "résonne" en déplacement et les vibrations s'atténuent sur quelques cycles comme si la structure était coupée de l'excitation. Un calcul de la période propre et de l'amortissement visqueux équivalent effectué sur la partie droite de la courbe de la figure 3 donne d'ailleurs des valeurs très voisines de celles obtenues en vibrations libres, à savoir :

$$T = 1,63 \text{ s} ; \xi = 5,31 \%$$

En reportant sur la figure 4 les caractéristiques dynamiques du simulateur de séismes sans dissipateurs d'énergie ($T = 1,67 \text{ s}$ et $\xi = 8,8 \%$) on obtient 0,15 g pour valeur de l'accélération spectrale sous l'action du séisme d'El Centro (1940), soit une atténuation de 2,3 par rapport à l'accélération maximale du sol.

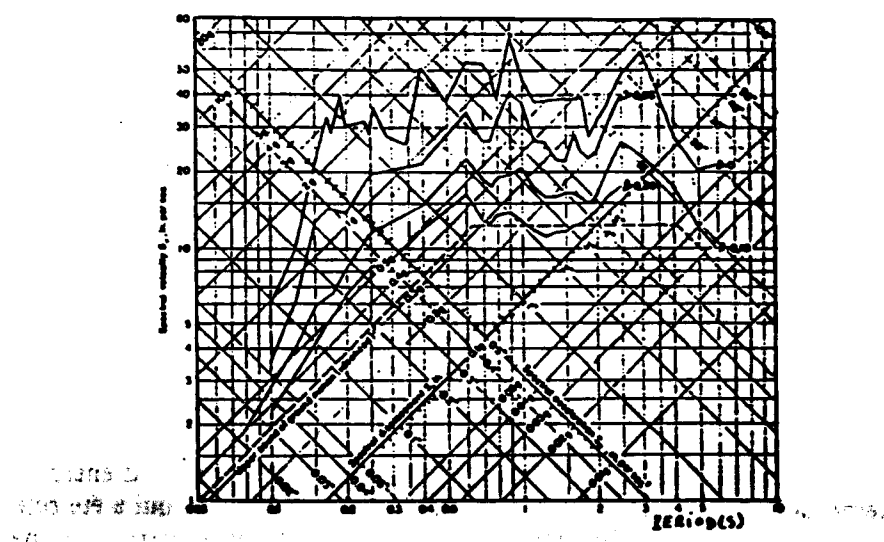


Figure 4. Spectre de Réponse. Séisme d'El Centro (1940).

II. MODELISATION D'UN APPUI CAOUTCHOUC-ACIER EN GRANDES DEFORMATIONS.

Ce sujet de recherche a fait l'objet d'une thèse nouvelle formule soutenue par M. Adnane Boukamel le 30 septembre 1988 et intitulée "Etude théorique et expérimentale d'un stratifié caoutchouc-acier en grandes déformations". L'objet de la thèse était de modéliser par éléments finis un appui caoutchouc-acier comprenant deux couches de caoutchouc et trois plaques d'acier et de comparer le comportement du modèle en compression et en cisaillement aux résultats expérimentaux. La principale difficulté est de trouver une loi de comportement traduisant la quasi-incompressibilité du caoutchouc. Pour un matériau hyperélastique, homogène et isotrope obéissant à l'hypothèse d'incompressibilité, le troisième invariant du tenseur de déformations est égal à l'unité ; la densité d'énergie de déformation dont on tire, par dérivation, le tenseur des contraintes est alors la somme de deux termes :

- la densité de déformation élastique $Q(I_1, I_2)$ qui est une fonction des deux premiers invariants ;
- un multiplicateur de Lagrange p , assimilable à une pression hydrostatique qui s'ajoute au tenseur des contraintes sans affecter les déformations. Cette pression hydrostatique est généralement déterminée à partir des conditions d'équilibre et des conditions aux frontières des éléments finis.

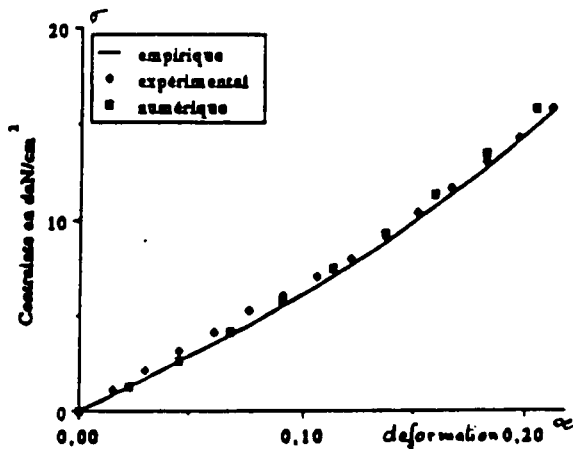


Figure 5. Comportement d'un bi-couche en compression.

Tout le problème revient donc à trouver la fonction d'énergie de déformation $Q(I_1, I_2)$. C'est le modèle de Mooney-Rivlin qui a été retenu, d'une part, pour sa simplicité de mise en oeuvre, et d'autre part, parce qu'il rend assez bien compte des résultats expérimentaux

pour des déformations allant jusqu'à 100 %. On obtient ainsi

$$Q(I_1, I_2) = a_1 (I_1 - 3) + a_2 (I_2 - 3)$$

a_1 et a_2 étant des constantes caractéristiques du matériau qui ont été identifiés par deux séries d'essais :

- essais de traction uniaxiale ;
- essais de cisaillement simple.

Les valeurs obtenues pour les paramètres a_1 et a_2 ont été :

$$a_1 = 0,301 \text{ Mpa}$$

$$a_2 = 0,112 \text{ Mpa}$$

Le bi-couche a été ensuite modélisé par des éléments finis toriques bi-dimensionnels adaptés au modèle de Mooney-Rivlin incompressible avec une procédure de calcul du type Newton-Raphson appliquant la charge par incréments successifs. Les résultats numériques ont été confrontés, ensuite à des essais expérimentaux. La figure 5 montre les résultats obtenus en compression dans trois cas :

- numérique
- expérimental
- empirique.

La relation empirique est celle qui a été donnée par Lindley :

$$\sigma = 2 (1 + 2S^2) (\lambda - 1/\lambda^2) (a_1 + a_2/\lambda)$$

avec $\lambda = 1 - \alpha$

α étant la déformation. S est un facteur de forme, rapport de la surface chargée de l'appui à la surface non chargée. Pour une forme circulaire on a

$$S = D/4e$$

D étant le diamètre de la section comprimée et e l'épaisseur d'une couche.

La figure 6 indique les résultats obtenus en cisaillement. La relation empirique adoptée ici est également celle de Lindley

$$\tau = 2 (a_1 + a_2) \gamma / (1 + k^2)$$

K étant un coefficient qui tient compte de la déflexion additionnelle de flexion lorsque les appuis sont relativement élargés.

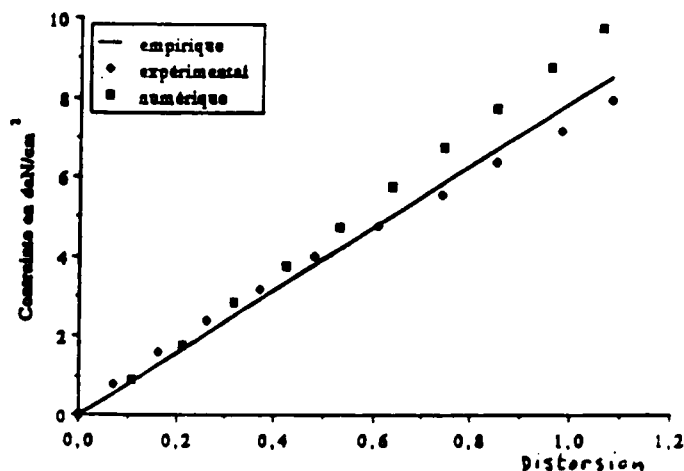


Figure 6. Comportement d'un bi-couche en cisaillement.

On peut voir en examinant les figures 5 et 6 que les résultats numériques concordent relativement bien avec les résultats expérimentaux et même empiriques en compression (fig. 5).

III. LE TRAVAIL EN COMMISSIONS.

III.1 Règlement National AFPS 90

G. Delfosse a participé à Paris à une quinzaine de séances de travail de l'Association Française de Génie Parasismique (AFPS) pour la rédaction du chapitre 22 "Appuis Spéciaux" des futures Règles Parasismiques PS 1990 qui remplaceront, à bref délai, les anciennes Règles PS 1969 maintenant désuètes.

Ce chapitre 22 constitue un document d'une trentaine de pages qui codifie l'utilisation de la technique d'isolation à la base pour la protection des constructions contre les séismes. L'isolation à la base est un concept qui a

été créé et développé par G. Delfosse et son équipe durant les quinze dernières années et le chapitre 22 reprend à 90 % au moins les résultats qui ont été obtenus durant cette période. Nous avons là un exemple d'une recherche extrêmement utile, menée depuis l'idée de départ jusqu'à la réalisation technique et qui a abouti à un standard au niveau national et même international. Les Américains et les Japonais ont, en effet, largement utilisés les travaux de G. Delfosse pour leurs propres réalisations.

III.2 Guide régional parasismique des Installations à Haut Risque

G.Delfosse a participé à dix séances de travail du Groupe Risque Sismique de la Commission Risques Technologiques Majeurs créée à l'initiative du Préfet de la Région P.A.C.A. Cette commission, placée sous la tutelle de la Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche (D.R.I.R.) a pour objet d'étudier les installations à haut risque tels que les réservoirs contenant du gaz liquéfié sous pression et de définir les mesures à prendre pour éviter des accidents grave du type SEVESO. Au sein de cette commission, le groupe de travail Risque Sismique a eu pour mission d'élaborer des "Recommandations pour la Construction Parasismique des Installations Industrielles à Risque Spécial" parues en janvier 1991. C'est un ouvrage de 170 pages environ dont un tiers a été rédigé par G.Delfosse.

A travers sa participation à ce groupe de travail, G. Delfosse a réalisé trois contrats de recherche dont les méthodes et les résultats ont été repris dans les Recommandations. Les trois contrats portaient sur les sujets suivants :

1. "Etude de la résistance aux séismes d'une sphère de butane de 500 m³" (Contrat C.N.R.S. - BUTAGAZ)

Il s'agit d'un réservoir sphérique de 9,96 m de diamètre installé sur 8 poteaux métalliques creux de 0,50 m de diamètre. Le centre de gravité de l'ensemble est à 7,48 m au-dessus du sol. Des tirants en acier de 30 mm de diamètre sont disposés en croix entre les poteaux. L'étude est faite avec deux séismes dont les spectres de réponse ont été fournis par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) à Luminy :

- un Séisme dit Maximum Historiquement Vraisemblable (S.M.H.V.) correspondant à une accélération horizontale maximale du sol de 0,20 g ;
- un Séisme dit Majoré de Sécurité (S.M.H.) prenant en compte une accélération horizontale maximale du sol de 0,4 g.

Les spectres d'accélération verticale ont été pris identiques aux spectres d'accélération horizontale.

L.M.A. - Equipe D.S.

L'étude dynamique a été effectuée dans deux cas, avec les deux séismes pour chaque cas :

- sphère pleine avec tirants ;
- sphère pleine sans tirants.

Elle a permis de dégager les points suivants :

- pour le séisme S.M.H.V. (0,2 g), les tirants sont rompus et la contrainte normale dans les poteaux excède la limite élastique de 61 %. Si on enlève les tirants, la contrainte dans les poteaux n'excède plus la limite élastique que de 4 % ;
- pour le séisme S.M.S. (0,4 g), les tirants et les poteaux sont rompus entraînant la ruine de l'ouvrage. Si les tirants ont été préalablement enlevés, la contrainte dans les poteaux excède tout de même légèrement la contrainte de rupture.

En conclusion, le réservoir sphérique étudié semble assez peu résistant aux séismes. On a proposé une solution à deux volets :

- supprimer les tirants et les remplacer par des entretoises horizontales de forte section placées à mi-hauteur des poteaux,
- installer l'ensemble du réservoir sur un système d'isolation à la base comportant huit appuis parasismiques.

2. "Calcul d'un réservoir cylindrique soumis à l'action d'un séisme" (Contrat C.N.R.S. - B.R.G.M.).

Il s'agit d'un réservoir de 16 m de diamètre et 12,60 m de hauteur, contenant 2530 m³ de polyisobutène (P.I.B.).

On considère ici le seul séisme S.M.H.V. avec une accélération horizontale maximale de 0,2 g au sol et on étudie la réponse du réservoir dans deux cas :

- réservoir plein ancré sur une galette en béton ;
- réservoir plein non ancré.

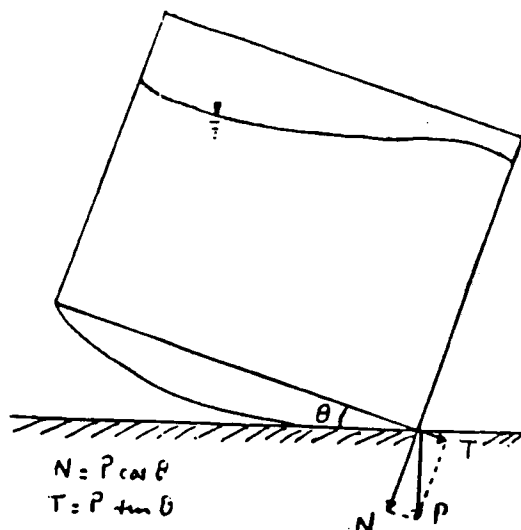


Figure 7. Soulèvement d'un réservoir cylindrique non ancré sous l'action d'un séisme.

Dans le cas du réservoir ancré, on obtient des contraintes normales dépassant 3800 MPa dans les boulons d'ancrage et atteignant 34 MPa en cisaillement au niveau du béton des scellements. Ces contraintes sont beaucoup trop élevées et entraîneraient un arrachement des fixations.

Dans le cas du réservoir non ancré, il se produit immédiatement un basculement du réservoir autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la direction principale du séisme. Cette rotation a pour effet d'introduire des contraintes anormales dépassant 1000 MPa sur le bord qui reste appuyé. Ces contraintes très élevées provoquent la rupture de la paroi à la base par "cloquage" en patte d'éléphant avec écoulement du liquide à l'extérieur (et sa transformation immédiate en gaz). C'est un phénomène qu'on observe très souvent sur les réservoirs après le passage d'un séisme (fig. 7).

Deux types de solutions sont offertes :

- un ancrage du réservoir, dans tous les cas, avec au moins 48 boulons de 30 mm de diamètre en acier H.R., au lieu des 8 boulons de 20 mm de diamètre existants ;
- l'installation du réservoir sur un système d'isolation à la base comportant 22 appuis parasismiques de 500 mm de diamètre. Cette solution permet de conserver le nombre et le diamètre des ancrages existants et divise, en outre, par 6 environ les contraintes de flexion à la base du réservoir.

3. "Calcul sismique d'un réservoir de propane sur berceaux" (Contrat C.N.R.S. - NAPHTACHIMIE)

L.M.A. - Equipe D.S.

Il s'agit d'un réservoir de 3 m de diamètre et 25 m de longueur, contenant 170 000 m³ de propane et posé sur sept berceaux en béton armé. L'étude est faite dans les trois directions, verticale, longitudinale et transversale sous l'action d'un séisme S.M.H.V. correspondant à une accélération horizontale maximale de 0,2 g au sol. Le système de fondations est constitué par sept semelles en béton de 2,60 m de longueur et 0,50 m de largeur.

Les résultats obtenus montrent que les contraintes de compression sur le sol sont excessives :

- 1,37 MPa, pour une action du séisme dans le sens longitudinal ;
- 0,43 MPa, pour une action dans le sens transversal.

En outre, apparaissent des contraintes négatives qui indiquent un soulèvement de la structure :

- 1,0 MPa, pour une action sismique dans le sens longitudinal ;
- 0,05 MPa, pour une action dans le sens transversal.

Le soulèvement est important dans le sens longitudinal.

La solution proposée est un système d'isolation à la base, lequel supprime les contraintes négatives et ramène les contraintes positives à des valeurs acceptables. Le système étudié donne :

- 0,38 MPa dans le sens longitudinal ;
- 0,23 MPa dans le sens transversal.

OR 261 Amortissement à basse fréquence

G.Delfosse, B.Scandellari, J.P.Romieu.

1. AMORTISSEMENT PAR BARREAUX METALLIQUES EN GRANDES DEFORMATIONS.

Ce sujet a fait l'objet d'une thèse soutenue par M. M.A. Karray le 1er juillet 1987 et intitulée "Etude de l'efficacité d'un système d'isolation à la base avec amortissement par plasticité".

L'étude porte sur le comportement dynamique d'un corps rigide muni d'un système d'isolation visco-élastoplastique et soumis à une excitation

sismique horizontale. On peut considérer d'une façon plus précise que le système élastique est représenté par des isolateurs visco-élastiques et le système élastoplastique par des barreaux en acier doux montés en parallèle avec les isolateurs. Deux cas d'excitation ont été étudiés :

- l'excitation sismique uni-dimensionnelle,
- l'excitation sismique bi-dimensionnelle en plan.

Dans les deux cas, on choisit de décrire les forces de rappel par le modèle de Bouc qui est une version adoucie de la loi élastoplastique à écrouissage cinématique linéaire de Prager.

Cas uni-directionnel.

Des mesures expérimentales ont été faites, dans le cas uni-directionnel, sur la table vibrante du L.M.A. avec le séisme d'El Centro (1940).

	Accélération MAX Absolue (m/s^2)		Déplacement MAX. Relatif (m)	
	NUM.	EXPER.	NUM.	EXPER.
Isolateurs seuls	1,65	2,1	0,1026	0,11
Isolateurs + Barreaux	1,43	1,68	0,073	0,069

Tableau 2. Résultats numériques et expérimentaux dans le cas uni-directionnel.

Le tableau 2 indique les résultats numériques et expérimentaux obtenus sans barreaux et avec 2 barreaux en acier doux de diamètre 6 mm et de longueur 120 mm. On constate une bonne concordance entre les déplacements calculés et mesurés et un certain écart entre les accélérations numériques et expérimentales, celles-ci étant supérieures à celles-là, de 27,3 % sans barreaux et de 17,5 % avec barreaux.

On peut remarquer, par ailleurs, que la présence des barreaux divise l'accélération expérimentale par 1,27 et le déplacement par 1,59. L'efficacité du système se mesure en calculant l'atténuation de l'accélération expérimentale par rapport au sol ($3,50 m/s^2$), soit 40 % dans le cas sans barreaux et 52 % dans le cas avec barreaux.

Cas bi-directionnel.

	Accélération MAX. Absolue (m/s^2)	Déplacement MAX. Relatif (m)
	DIR XX ; DIR YY	DIR XX ; DIR YY
Isolateurs seuls	1,7 ; 1,5	0,123 ; 0,112
Isolateurs + Barreaux	1,98 ; 1,8	0,096 ; 0,089

Tableau 3. Résultats numériques dans le cas bi-directionnel.

Cas bi-directionnel.

Le tableau 3 indique les résultats numériques obtenus dans les deux directions horizontales avec un séisme artificiel dit SLC (accélération max. du sol 0,25 g) sans barreaux et avec 2 barreaux en acier doux de 8 mm de diamètre et 120 mm de longueur. On peut analyser ce tableau de la manière suivante.

Cas Isolateurs seuls. Les accélérations et les déplacements dans la direction XX sont supérieurs respectivement de 13,3 % et 9,8 % aux valeurs obtenues dans la direction YY. La direction XX correspond au côté le plus long de la structure et donc à la rigidité la plus grande. L'atténuation de l'accélération par rapport à celle du sol (0,25 g) est de 1,44 dans la direction XX et de 1,63 dans la direction YY.

Cas Isolateurs + barreaux. On observe les mêmes tendances que dans le cas précédent. Les accélérations et les déplacements dans la direction XX sont supérieurs respectivement de 10 % et 7,9 % à ceux de la direction YY. L'atténuation de l'accélération par rapport au sol est de 1,24 dans la direction XX et de 1,36 dans la direction YY. Les accélérations sont plus élevées que dans le cas sans barreaux, tandis que les déplacements sont plus faibles, comme il convient puisqu'on ajoute de l'amortissement. Une explication de l'anomalie des accélérations réside peut-être dans le fait qu'on a appliqué simultanément les deux composantes horizontales du séisme aboutissant ainsi à une amplification de l'accélération ; dans la réalité, les deux composantes sont bien simultanées, mais l'une d'elles a toujours une accélération supérieure à l'autre.

En parallèle avec la thèse de M. Karray, des essais ont été effectués sur le Simulateur de Séismes du Laboratoire.

LONGUEUR (MM)	DIAMETRE 14 mm			
	PERIODE PROPRE (S)	FORCE MAX (daN)	AMORTISSEMENT BARREAUX (J)	AMPLITUDE INITIALE (CM)
100	1,40	2050	0,1020	8,9
250	1,30	1500	0,0716	9,8
330	1,50	1470	0,0167	11,7
	DIAMETRE 20 mm			
	PERIODE PROPRE (S)	FORCE MAX (daN)	AMORTISSEMENT BARREAUX (J)	AMPLITUDE INITIALE (CM)
100	1,35	8175	0,0062	9,35
250	1,45	3050	0,0053	10,0
330	1,55	4800	0,0330	9,5

Tableau 4. Simulateur de séismes. Résultats caractéristiques avec des barreaux de diamètre 14 et 20 mm.

(1) L'amortissement venant des isolateurs est, en moyenne, de 8,8 %.

Essais complémentaires sur le Simulateur de Séismes du L.M.A.

Un montage constitué par 24 barreaux en acier doux a été ajouté au simulateur de séismes de façon à tester son comportement dynamique lorsqu'on augmente l'amortissement.

Les barreaux sont placés en parallèle avec les isolateurs ; ils sont encastrés à la base et -en théorie- encastrés-guidés au sommet.

En fait, pour éviter un blocage de l'extrémité des barreaux pendant le déplacement, un jeu d'au moins 20 mm a été laissé entre la tête des barreaux et leur guide. Les essais ont été effectués de manière similaire à celle décrite au chapitre I de l'OR 26.

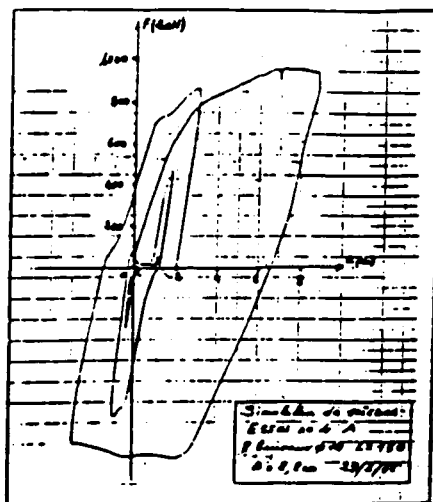


Figure 8. Essais sur le simulateur de séismes avec dissipateurs d'énergie.
Courbes d'hystérésis-type.

Deux diamètres, 14 et 20 mm ont été, en fait, essayés et, pour chacun d'eux, trois longueurs de 180, 250 et 330 mm. Le tableau 4 indique les résultats caractéristiques obtenus. On voit que, si la force dans les barreaux augmente sensiblement du diamètre 14 au diamètre 20, l'amortissement est peu modifié. Cette anomalie est due au type de montage décrit plus haut ; elle est confirmée par la forme des courbes d'hystérésis (fig. 8) qui s'écarte notablement de la forme standard.

II. AMORTISSEMENT PAR ELASTOMERE.

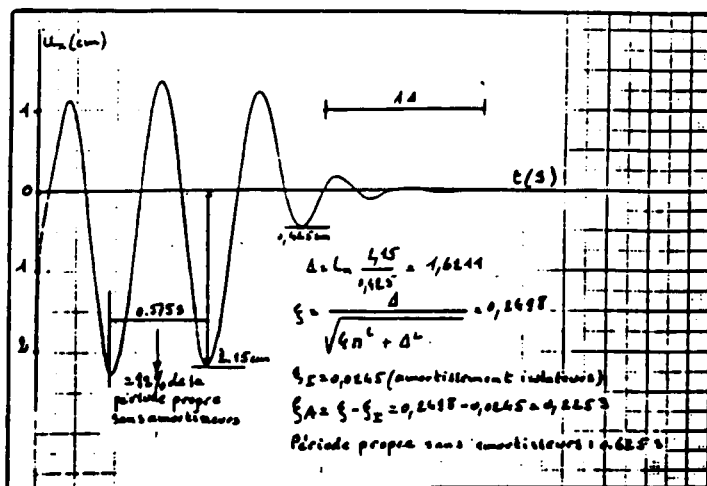


Figure 9. Vibrations libres d'une masse de 1100 kg montée sur 4 isolateurs de diamètre 80 et 4 amortisseurs.

NOMBRE D'AMORTIS- SEURS	DEPLACEMENT INITIAL (cm)	PERIODE PROPRE (S)	AMORTISSEMENT VISQUEUX DES AMORTISSEURS (%)
/	2,4	0,625	2,45
2	2,8	0,620	9,96
4	2,15	0,575	22,53

Tableau 5. Amortissement visqueux équivalent du montage réalisé avec la masse de 1100 kg.

Le propos est ici de trouver un matériau de type élastomère présentant un amortissement élevé avec une rigidité aussi fiable que possible. La stabilité de forme avec la température est également un critère important qui n'a pas été étudié ici. Les essais ont été effectués à l'aide d'un montage réalisé par une masse de 1100 kg installée sur 4 isolateurs de diamètre 80 mm (40 couches de 2 mm) et des amortisseurs de diamètre 80 mm en parallèle (1 couche d'élastomère de 100 mm). Les essais ont été effectués en vibrations libres et l'amortissement visqueux équivalent calculé par la méthode du décrétement logarithmique.

La figure 9 montre un exemple de la courbe obtenue en vibrations libres et le tableau 5 donne les résultats pour 0, 2 et 4 amortisseurs. On remarque l'amortissement élevé obtenu avec 4 amortisseurs (22,53 %) avec seulement une diminution de 8 % de la période propre par rapport au cas sans amortisseurs.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, transnational et international.

Le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique est bien représenté dans les comités nationaux et régionaux créés pour l'élaboration de Recommandations valant règlements dans le domaine de la protection parasismique des bâtiments et des structures.

Les contacts sont faibles, par contre, sur le plan européen ils devraient être développés surtout avec l'Italie et la Grèce qui sont deux pays à forte sismicité.

La place du laboratoire reste importante, sur le plan mondial, en ce qui concerne la protection par isolation à la base. Cependant les Américains et surtout les Japonais, à travers l'industrie privée, consacrent des sommes énormes à la recherche en isolation à la base (16 M \$ par an au Japon). Il est, sans doute, dommage que la France où est née l'isolation à la base, n'y consacre pratiquement aucune ressource. Il serait, par ailleurs, opportun d'augmenter les contacts avec les Etats-Unis et le Japon pour rester, au moins, informés.

Publications 1989-1990

Ouvrages de synthèse

G.DELFOSSE. Recommandations AFPS 90. Chapitre 22 "Appuis Spéciaux". Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1990.

G.DELFOSSE. Recommandations pour la Construction Parasismique des Installations Industrielles à Risques Spécial. Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche Provence-Alpes-Côte d'Azur, 1990.

Contrats de Recherche

G.DELFOSSE. Etude de la Résistance aux séismes d'une sphère de butane de 500 m³. Contrat C.N.R.S.-Butagaz Avril 1989.

G.DELFOSSE. Calcul d'un réservoir cylindrique soumis à l'action d'un séisme. Contrat C.N.R.S.-B.R.G.M. Décembre 1989.

G.DELFOSSE. Calcul sismique d'un réservoir de propane sur berceaux. Contrat C.N.R.S.-Naphtachimie. Janvier 1990.

***D. ONDES ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE ; INTERACTION
FLUIDE-STRUCTURES VIBRANTES***

Equipe Propagation Acoustique et Protection de l'Environnement (P.A.P.E.)

Responsable : D.HABAULT

Orientation générale

Les principaux domaines d'intérêt de l'équipe P.A.P.E. sont depuis plusieurs années les suivants :

- la modélisation des problèmes de propagation et de diffraction d'ondes acoustiques et vibratoires ; plusieurs études ont été réalisées au sein de l'équipe, elles sont liées à la protection contre les nuisances sonores ou vibratoires dues notamment aux réseaux de transport, elles incluent le développement de méthodes de prédiction et de méthodes de caractérisation acoustique de parois absorbantes ; ces études ont plusieurs aspects : théorique, numérique et expérimental ;
- le rayonnement acoustique de structures vibrantes placées dans un fluide ; pour un fluide immobile, des méthodes de prédiction de déplacement sur la structure et de pression rayonnée dans le fluide ont été développées. Actuellement, nous nous intéressons aux méthodes de perturbation appliquées dans le cas d'un fluide léger. D'autre part, grâce à la présence de M. F. Cassot, détaché de l'I.N.S.E.R.M. dans notre équipe jusqu'en octobre 1991, ce domaine d'activité s'est élargi au cas des structures excitées par un écoulement ;
- la modélisation de sources de bruit : cette étude consiste à identifier un champ acoustique à partir de mesures de pression. Les méthodes développées dans le cas de signaux déterministes sont actuellement appliquées à des problèmes posés par des industriels tels que E.d.F. et le C.N.E.S. D'autre part, débute une nouvelle étude sur la mise au point de méthodes analogues pour des signaux aléatoires.

Nous ajoutons à notre présentation un paragraphe sur la Mécanique cardio-vasculaire, qui a fait l'objet d'une opération de recherche jusqu'en

décembre 1990, travail effectué en collaboration avec l'équipe de Bio-Mécanique de l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille.

L'ensemble de ces études repose sur de nombreux développements numériques (équations intégrales, méthodes d'optimisation,...) Les études expérimentales font largement appel à la micro-informatique et aux techniques de traitement du signal ; elles se déroulent essentiellement dans les deux salles, anéchoïque et semi-anéchoïque, dont dispose l'équipe.

Dans le cadre de ces diverses études, deux programmes de collaboration ont été développés avec des laboratoires anglais et norvégien.

L'équipe participe également très activement à la formation par la recherche en accueillant des étudiants en thèse et des stagiaires de différents niveaux, et à l'enseignement (notamment, celui du D.E.A. d'Acoustique et Dynamique des Vibrations).

Enfin, l'équipe a l'occasion de mener des actions plus ponctuelles et limitées dans le temps pour des organismes municipaux ou des entreprises régionales : études de réduction de bruit, de comportement acoustique des matériaux,...

Nous terminons en signalant le départ de notre équipe, en septembre 1990, de M. J. Piraux, chargé de recherche. Depuis janvier 1991, l'équipe Imagerie Thermique et Acoustique Quantitative (I.T.A.Q.), formée essentiellement de M. J-P Lefebvre et d'un étudiant en thèse, est rattachée à notre équipe. Cette évolution se justifie par notre intérêt commun pour la modélisation des phénomènes de propagation d'ondes et nos activités d'enseignement. Apparaîtra ainsi dans l'équipe un thème centré sur la propagation d'ondes et les problèmes inverses.

Activités de recherche

OR 14 **Propagation d'ondes dans les milieux fluides et solides**

P.Filippi, D.Habault, U.Kristiansen, K.Hemida, J.Mège, C.Noël, C.Vernette

1 - Propagation d'ondes acoustiques et vibratoires dans l'environnement

L'étude des phénomènes de propagation d'ondes liés aux problèmes de bruit et vibrations dans l'Environnement est un de nos sujets de recherche depuis plus de dix ans. Ont été développées, en particulier, des études sur la diffraction par des écrans et sur la propagation au-dessus d'un sol absorbant. Ces études comprennent tout à la fois une partie théorique (existence et unicité de la solution du système d'équations, convergence d'algorithmes,...), une partie numérique (logiciels de prévision de niveaux sonores ou vibratoires), une partie expérimentale (en chambre anéchoïque et in situ).

Actuellement, l'application de nos études est liée au développement de moyens de protection contre les nuisances dues aux réseaux de transport (routes, chemins de fer,...). La mise au point de protections passe en premier lieu par une bonne modélisation des sources (sonores ou vibratoires) et du phénomène de propagation. De nombreuses études expérimentales ont permis de définir quelques caractéristiques générales des sources : bandes de fréquence, diagrammes de directivité,... Notre apport consiste à étudier le phénomène de propagation lui-même et à développer des méthodes de prédiction de niveaux sonores ou vibratoires, pour une source harmonique en fonction du temps.

Nos travaux les plus récents ont concerné la propagation d'ondes vibratoires dans un sol. Le sol est modélisé par un milieu solide viscoélastique stratifié. L'étude réalisée dans le cadre d'un contrat avec le Ministère de l'Environnement a consisté à déterminer l'efficacité de moyens de protection contre les vibrations, tels que les tranchées à la surface du sol ou des obstacles inclus dans le sol. Les tranchées peuvent être soit ouvertes soit emplies d'un autre matériau viscoélastique. L'efficacité est définie comme le rapport d'amplitudes des déplacements en présence et en l'absence de la tranchée. L'une des géométries intéressantes correspond à source et récepteur sur la surface du sol ; on peut obtenir des efficacités de l'ordre de 0,4 , c'est-à-dire que l'amplitude du déplacement en présence de la tranchée peut être divisée par 2,5 , pour une tranchée

dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde. Les problèmes considérés sont bidimensionnels, ce qui est tout à fait suffisant pour une étude paramétrique. Dans le cas d'un sol stratifié avec couches homogènes, le calcul du déplacement est basé sur la théorie des distributions et une transformation de Fourier spatiale partielle. En présence d'un obstacle dans le sol, le déplacement est obtenu par une méthode d'équations intégrales.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons maintenant au développement de méthodes asymptotiques (type Théorie Géométrique de la Diffraction) pour décrire le déplacement en présence d'une tranchée. Ces méthodes ont déjà été développées en Elasticité dans le cadre des problèmes de fissures dans un matériau. Pour le cas d'une tranchée, il faut obtenir des formules équivalentes à celles développées en Acoustique dans le cas de la diffraction par un dièdre simple et un double dièdre. Dans une première étape, nous avons entamé une rapide étude numérique des domaines de validité des différentes approximations proposées en Acoustique.

Nous allons d'autre part reprendre l'étude de la prédiction de niveaux de bruit au-dessus d'un sol et en présence d'un écran. Ces problèmes sont toujours d'actualité dans la lutte contre les nuisances sonores. Par exemple, de nouveaux types de revêtement routier sont proposés, qui apportent à la fois une plus grande sécurité et un meilleur confort acoustique ; il est donc intéressant de quantifier l'effet conjugué de ces revêtements et des barrières en bordure de route. Les problèmes d'écrans et de sols ont été étudiés pendant de nombreuses années dans notre équipe, à l'aide de méthodes d'équations intégrales. Nous reprenons donc maintenant cette étude, dans le cadre d'une collaboration avec le groupe d'Acoustique (Department of Civil Engineering) de l'Université de Bradford. Cette équipe anglaise travaille sur le même sujet depuis plusieurs années et nous avons entamé une collaboration de recherche depuis mai 1990. Notre projet est soutenu en 1991 dans le cadre du programme franco-anglais "Alliance", pour nous permettre un échange de visites. Notre but à moyen terme est d'élargir cette collaboration à d'autres laboratoires tels que le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Nantes), l'Open University à Milton Keynes (Grande-Bretagne) et l'Université de Patras (Grèce).

Enfin, pour l'année 1989, M. K.Hemida, étudiant égyptien préparant une thèse dans le cadre d'une co-tutelle franco-égyptienne, s'est intéressé aux méthodes numériques de résolution d'équations intégrales : il a comparé, sur un problème de propagation sonore au-dessus d'un sol à impédance discontinue, différentes techniques telles que les méthodes de Galerkin, de collocation, etc...

2 - Propagation sonore dans une salle

Après plusieurs visites de deux à trois mois, le Professeur Kristiansen, enseignant-chercheur à l'Université de Trondheim (Norvège), a effectué un séjour d'une année (septembre 1988-août 1989) au sein de notre équipe. Notre collaboration était basée au départ sur notre intérêt commun pour les méthodes d'équations intégrales appliquées aux problèmes d'Acoustique.

M.Kristiansen s'intéresse particulièrement à la propagation sonore dans une salle avec, pour application, l'Acoustique des salles de concert d'une part, et la mise au point de techniques de contrôle actif en espace clos d'autre part. Dans ce but, il a tout d'abord mis au point un logiciel basé sur la méthode des images qui permet de déterminer les caractéristiques d'une salle (durée de réverbération, "clarté", coefficient d'énergie latérale), ainsi que la réponse impulsionnelle de la salle. Il a récemment développé une version de ce logiciel implantable sur compatible IBM-PC, qui nous sert, entre autres, d'outil d'enseignement.

Une première étude commune aux deux laboratoires a été entreprise, sur l'application de la théorie des ondelettes en Acoustique des salles. L'idée de base est la suivante : on émet dans la salle un signal sonore correspondant à une ondelette d'une base orthogonale ; avec cette base, on analyse le signal reçu. On montre alors que l'instant d'arrivée d'un écho est donné par le zéro d'un produit scalaire, et son amplitude est donnée par la valeur d'un deuxième produit scalaire. Des simulations numériques ont montré qu'une telle méthode devrait être plus précise que celles utilisées actuellement pour déterminer la réponse d'une salle. De plus, elle permet de tester une salle avec des signaux d'une largeur de bande d'une octave, et le pouvoir séparateur entre deux échos est déterminé a priori par la fréquence centrale de l'ondelette émise.

Nous entreprenons actuellement une étude sur le comportement d'un écran dans une salle de concert. Les écrans considérés sont les plaques suspendues au plafond pour modifier les caractéristiques acoustiques d'une salle. Dans les méthodes classiques de prédiction de niveaux sonores, ces réflecteurs sont modélisés par des écrans rigides ; cette hypothèse est peut-être trop simplificatrice si l'on cherche une bonne prédiction de la durée de réverbération, par exemple. Dans une première étape, nous avons développé une méthode de calcul de niveaux dans la salle, basée sur les équations intégrales et une méthode d'images (au L.M.A.) et sur une méthode d'éléments finis de volume (à Trondheim). Un de nos objectifs est de dégager l'intérêt de modéliser un réflecteur par une plaque vibrante. A cet effet, nous avons développé une méthode de calcul de rayonnement d'une plaque mince de dimensions finies, basée sur les équations intégrales. Cette étude en Acoustique des salles sera une des applications de

l'étude du rayonnement de structures vibrantes en fluide léger présentée dans le cadre de l'O.R. 163.

3 - Propagation sonore en milieu marin à indice aléatoire

L'étude de la propagation sonore en milieu marin est le sujet de thèse de Melle C. Noël, boursière D.C.A.N.. De nombreuses méthodes ont été développées pour prédire la transmission sonore à grande distance, lorsque le milieu est décrit par un profil de vitesse déterministe : la vitesse de propagation du son dépend soit de la profondeur soit de la profondeur et de la distance radiale. Ces méthodes sont essentiellement les méthodes modales (à basse fréquence), les méthodes de rayons et l'approximation parabolique.

Une hypothèse plus réaliste pour décrire le milieu marin consiste à introduire des fluctuations aléatoires autour du profil de vitesse déterministe. L'objectif est alors d'évaluer les niveaux sonores moyens émis à grande distance et les variations autour de ces niveaux, dues aux fluctuations aléatoires.

Pendant sa première année de thèse, Melle Noël a développé une étude théorique sur la mise en équations du phénomène de propagation (analyse des différents termes) et une méthode numérique de calcul basée sur un développement en série de modes. Ce travail, réalisé au G.E.R.D.S.M. du Brusac, est dirigé en collaboration avec Mme Pélissier, Professeur à l'Université de Toulon.

OR 163 **Rayonnement acoustique des structures vibrantes, et modélisation des sources de bruit**
F.Cassot, P.Filippi, D.Habault, P.O.Mattei, J.Piroux,
A.Tekathian, E.Bazin, D.Mazzoni, J-PMercadal, N.Clariond

1 - Rayonnement acoustique de structures vibrantes

Au cours des dernières années, nous nous sommes principalement intéressés au rayonnement, en fluide lourd, de structures géométriquement simples : plaques minces, éventuellement munies de raidisseurs ; coques cylindriques d'épaisseur constante. Ces travaux ont été menés dans le cadre de contrats avec la D.R.E.T., et, pour les plus récents, en liaison avec le Laboratoire Vibrations-Acoustique de l'I.N.S.A. de Lyon.

De nombreux auteurs, dont le L.V.A., ont développé une technique de représentation du champ de déplacement de la structure par un développement en série des modes propres de la structure sèche. Notre approche est totalement différente, puisqu'elle est basée sur une représentation intégrale de ce déplacement.

Rayonnement de structures en fluide lourd

Depuis deux ans, l'essentiel des travaux a été effectué dans le cadre de la thèse de M. P.O.Mattéi. En prolongement des études antérieures, il a développé des méthodes de calcul de pression rayonnée par une coque infinie raidie périodiquement ; il peut ainsi mettre en évidence l'effet de raidisseurs sur le rayonnement d'une coque dans le fluide.

Il s'est ensuite intéressé à une comparaison entre structure vibrante bafflée et structure infinie contrainte, pour des exemples de plaque et de coque. En effet, dans les deux cas, la pression rayonnée dans le fluide s'exprime à partir de la transformée de Fourier du déplacement. Or le calcul du déplacement est, numériquement, plus rapide pour la structure infinie contrainte, où l'on peut se contenter de mailler les "bords" de la structure. Il est donc intéressant de déterminer dans quelles conditions, on peut se contenter du déplacement ainsi obtenu et égalé à zéro à l'extérieur de la structure pour décrire le rayonnement de la structure bafflée. L'étude numérique réalisée montre évidemment l'influence de la fréquence et de la masse volumique du fluide.

Rayonnement de structures en fluide léger

Nous avons débuté une étude dont le but est de développer une méthode de perturbations qui permette de calculer la réponse d'une structure immergée dans un fluide léger à l'aide de la résolution d'un problème de vibrations d'une structure dans le vide. Dans une première étude théorique, nous nous sommes principalement intéressés à montrer comment l'on peut construire les modes propres d'une plaque couplée à un fluide léger à partir des modes de la plaque sèche. Puis nous avons abordé une étude numérique d'un cas extrêmement simple, celui d'une plaque indéfinie, excitée par une force ponctuelle : le but est de définir, de façon empirique, le domaine de validité des méthodes de perturbation. Il apparaît que la solution approchée s'écarte, de façon appréciable, de la solution exacte uniquement dans un voisinage relativement restreint de la fréquence de coïncidence. Si l'on s'intéresse à la réponse moyenne dans des bandes de fréquences d'un tiers d'octave, la solution approchée est, dans cet exemple simple au moins, très

bonne. Nous avons poursuivi cette étude sur des exemples plus réalistes (plaques de dimensions finies, et munies de raidisseurs), en vue d'une application à la commande de systèmes de contrôle actif du champ acoustique transmis par une cloison (la partie "contrôle actif" étant développée par l'équipe A3 du L.M.A.). Les premiers résultats obtenus confirment ceux de la plaque indéfinie.

Cette étude va également se poursuivre dans le cadre d'une convention avec le Ministère de l'Environnement sur le développement de méthodes de perturbation pour décrire le rayonnement de structures simples en fluide léger. Une autre partie de cette convention consistera à développer ces méthodes pour une plaque mince de dimensions finies excitée par une onde acoustique, l'approximation à l'ordre zéro correspondant à un écran rigide.

Rayonnement acoustique et réponse vibratoire d'une structure excitée par un écoulement

La première étude concerne l'influence d'un écoulement sur la mise en vibration et le rayonnement d'une structure cylindrique. Dans cette étude, commencée en octobre 1989, on a simulé numériquement l'écoulement (2D) instationnaire, en régime laminaire, mais à très grands nombres de Reynolds, autour d'un cylindre, afin d'en déduire les forces excitatrices (distribution pariétale de pression) susceptibles d'engendrer les vibrations de la coque cylindrique et son rayonnement acoustique. Les méthodes utilisées sont une méthode de superposition différences finies - particule - maillage pour simuler l'écoulement et une méthode d'équations intégrales pour résoudre le système couplé d'équations de la coque et de la pression acoustique dans le fluide.

La deuxième étude concerne l'excitation d'une résonance acoustique de conduit par une allée tourbillonnaire. Ce thème constitue la partie théorique d'une étude entreprise en collaboration avec l'équipe Aéroacoustique de l'I.M.F.M. dans le cadre d'un contrat D.R.E.T. La méthode de simulation de l'écoulement utilisée est également une méthode de superposition différences finies - particule - maillage. La modélisation de l'interaction écoulement-onde acoustique est basée sur le modèle de Howe. M. J-P Mercadal a commencé sur ce sujet une thèse co-dirigée dans les deux équipes associées.

Comportement hydroélastique de réservoirs à membrane

Cette étude a débuté en octobre 1990 dans le cadre d'une convention avec Aérospatiale et fait l'objet de la thèse de Melle N. Clarion, boursière CIIFFRE. Les nouvelles générations de satellites seront de plus en plus équipés de réservoirs de carburant liquide munis d'une membrane pressurisée dont le rôle est d'imposer au carburant d'être d'un seul tenant. Mais alors, le ballonnement de la masse fluide vient perturber l'équilibre du satellite lors des différentes manoeuvres de positionnement. Le but du travail est de développer une méthode prédictive des phénomènes de ballonnement en vue d'améliorer les performances des dispositifs de pilotage.

Etude de dispositifs de contrôle actif de la réflexion du son en acoustique sous-marine

Cette étude fait l'objet d'une convention avec le GERDSM, dans le cadre de la thèse de M. E. Bazin, boursier DCAN. Elle consiste à étudier des dispositifs de contrôle de la réflexion du son à l'aide de transducteurs piézoélectriques et de circuits électroniques passifs et actifs. Cette étude se déroule en collaboration avec M. G. Duméry, Professeur à l'Université de Toulon.

2 - Modélisation des sources industrielles de bruit

Ce programme répond à deux préoccupations de l'ingénieur. Lorsqu'on désire faire des calculs prévisionnels de pollution par le bruit, il est utile de disposer de modèles mathématiques du champ acoustique émis, en espace indéfini, par les sources. Un deuxième aspect est la réduction du bruit à la source : une bonne description des processus d'émission acoustique d'une structure vibrante est alors une aide précieuse. Ce sujet a donné lieu à plusieurs conventions.

Principe de base

L'idée développée est la suivante. On sait que le champ acoustique rayonné, en espace indéfini, par une source monochromatique peut être représenté mathématiquement de différentes façons, et, en particulier, par une série d'harmoniques sphériques ou par une intégrale de surface (intégrale de Green, par exemple) ; le domaine de convergence du premier

modèle est toutefois limité. On montre alors que la connaissance du champ de pression acoustique sur une surface quelconque entourant la source et située dans le domaine de validité de la représentation choisie permet de déterminer de façon unique les paramètres qui la définissent. Du point de vue pratique, on n'a accès qu'à un nombre fini de points de mesure et les données expérimentales ont une précision limitée. En conséquence, on cherche à optimiser une approximation du modèle de rayonnement de la source ; la précision obtenue est du même ordre de grandeur que celle des mesures.

Sur le plan expérimental, la procédure est la suivante. Sur un réseau de microphones, on mesure la pression acoustique rayonnée par la source dont on veut modéliser l'émission : il est nécessaire de connaître les amplitudes et phases en valeur relative. L'échantillonnage spatial du champ doit être assez fin pour décrire les fluctuations du diagramme de directivité (le théorème de Shannon spatial doit être respecté). Par un calcul d'optimisation, on identifie les paramètres du modèle de façon à minimiser l'écart quadratique moyen entre les données expérimentales et la représentation mathématique.

Modélisation d'une source à partir de mesures effectuées en ambiance anéchoïque

Dans nos premières études, nous avons principalement développé une modélisation du champ émis par une source de bruit à l'aide de séries tronquées d'harmoniques sphériques. Nous nous proposons de développer une technique analogue, en modélisant le champ par une représentation intégrale (représentation de Green, par exemple). Cette étude constitue une partie de la thèse de Mlle A. Tekatlian, boursière du M.R.T. : à partir de la mesure du rayonnement d'une structure vibrante, on cherche à déterminer, en particulier, la vitesse normale de la surface de la structure.

Modélisation de sources à partir de mesures effectuées en ambiance réverbérante

Dans sa version initiale, la méthode est quelque peu restrictive, puisqu'elle exige que les mesures de rayonnement de la source que l'on veut modéliser soient faites en salle anéchoïque. Or, en pratique, une source industrielle doit être testée dans des conditions normales d'utilisation : elle se trouve donc toujours en présence de surfaces plus ou moins réfléchissantes. On peut prendre en compte les réflexions de plusieurs façons. Nous en avons retenu essentiellement deux. La première, qui est tout à fait générale,

consiste à modéliser le champ total par la superposition d'une série d'harmoniques sphériques divergents, et d'une série d'harmoniques convergents ; pour séparer le champ incident du champ réfléchi par les frontières du site de mesure, il faut faire un relevé de pression acoustique sur deux surfaces concentriques, ce qui alourdit considérablement la technique expérimentale. La deuxième manière consiste à décrire sommairement les réflexions par des sources images, de mêmes caractéristiques que la source primaire, mais affectées d'un coefficient d'atténuation ; les différents coefficients d'atténuation apparaissent comme inconnues supplémentaires dans le calcul d'optimisation.

A la demande de la Direction des Etudes et Recherches d'E.D.F. de Clamart, nous avons effectué une série de simulations numériques des deux méthodes envisagées. Les résultats obtenus sont tout à fait semblables à ceux que nous avons eus en l'absence de surfaces réfléchissantes. La première modélisation est cependant un peu moins performante : l'effet de troncature des séries pénalise le champ réfléchi beaucoup plus que le champ direct. Dans la seconde modélisation, l'effet de troncature des séries est le même sur le champ réfléchi que sur le champ direct, et le nombre d'inconnues supplémentaires à identifier est beaucoup plus réduit ; ainsi, à nombre égal de points de mesure, on dispose d'un plus grand nombre de paramètres pour décrire la source : le modèle obtenu est alors plus précis.

Dans une deuxième convention (actuellement en cours), nous allons mettre en oeuvre une série de tests expérimentaux sur des sources simples (petite structure vibrante, moteur électrique, ventilateur). Nous nous attacherons à décrire uniquement le bruit de raies émis par ces sources. Cette étude fait partie du travail de thèse de Mlle A. Tekatlian, boursière du M.R.T.

Modélisation de sources émettant un bruit "large bande"

Un autre organisme intéressé par cette étude est le C.N.E.S. Lors du décollage des lanceurs Ariane, les moteurs engendrent des niveaux de bruit de l'ordre de 160 dB au niveau de la coiffe ; le matériel embarqué subit alors une mise en vibration qui peut entraîner des dommages. Le dispositif de suspension des équipements et les matériels eux-mêmes doivent être dimensionnés de façon à résister à l'ensemble des excitations vibratoires qui les sollicitent. Jusqu'à maintenant, les excitations d'origine acoustique sont estimées à partir de modèles très simplifiés du rayonnement acoustique d'un jet gazeux : la prise en compte des équipements avoisinants (tour de lancement, et, surtout table de lancement) est beaucoup trop imprécise. Il y a donc un besoin de mieux décrire le champ acoustique auquel est soumise la coiffe (ou éventuellement la navette Hermès) pendant la phase de décollage du lanceur.

Dans cette application, la source n'émet plus un bruit de raies, mais son spectre est continu dans une largeur de bande de plusieurs octaves. L'objectif à atteindre est de définir une méthodologie qui permette de donner une suite de modèles de rayonnement des moteurs décrivant la répartition spatiale d'énergie dans les bandes successives d'octave et de tiers d'octave.

On part d'une analyse de Fourier en bandes fines du signal reçu par chaque microphone. Pour qu'une modélisation soit valable dans une bande d'une octave, par exemple, elle doit correspondre à la valeur efficace des pressions fournies par un modèle dépendant de manière continue de la fréquence (ou, tout au moins, une suite de modèles correspondant à un échantillonnage fréquentiel fin). En fait, on peut se contenter de trois modèles monochromatiques partiels. On commence donc par définir un modèle de rayonnement monochromatique pour chacune des raies centrales des tiers d'octaves constituant l'octave ; les données sont : la valeur efficace, dans le tiers d'octave considéré, de la pression relevée par chaque microphone ; la phase de la fréquence centrale. Le modèle adopté pour une représentation dans une bande d'une octave est défini par la valeur efficace de la somme des pressions acoustiques correspondant aux trois modèles "tiers d'octave".

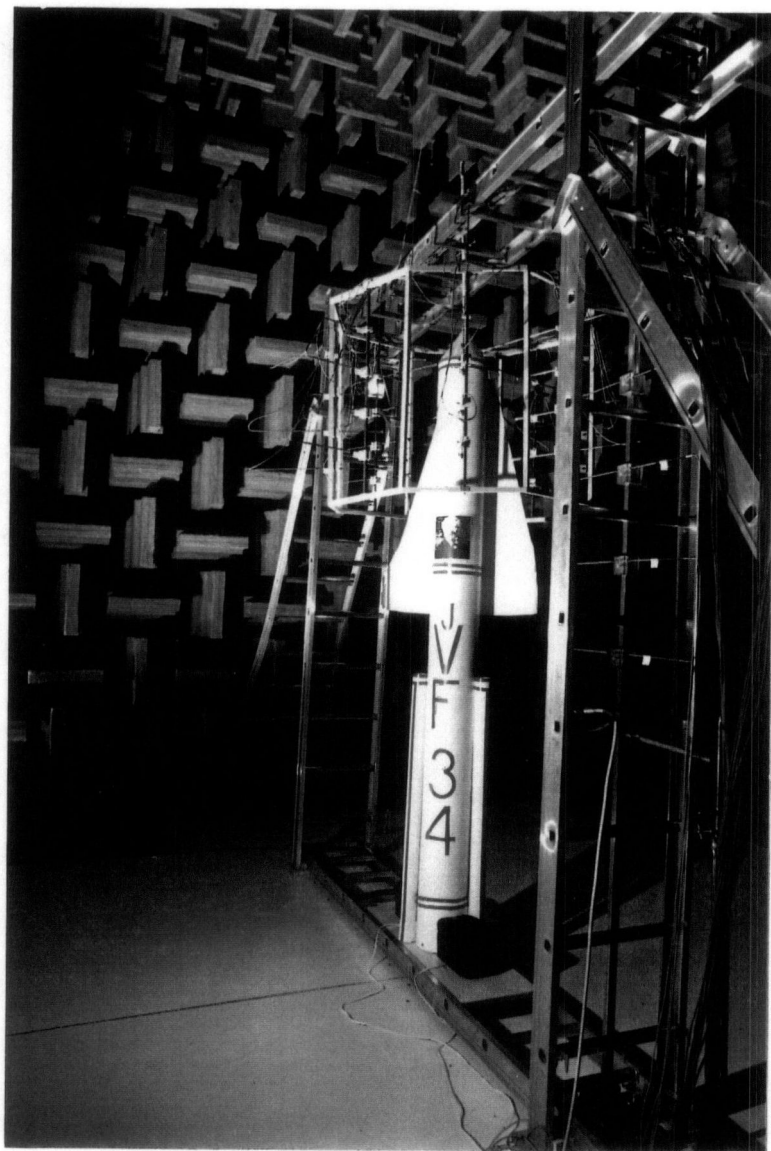
Nous avons validé cette méthode sur une expérience simplifiée en chambre anéchoïque. Les sources de bruit étaient des haut-parleurs alimentés par un enregistrement du bruit émis par un moteur de lanceur Ariane. L'expérience a confirmé le bien-fondé de notre démarche.

Cette étude se poursuit, toujours en laboratoire, par une série d'expériences où le montage adopté est plus proche du banc d'essais sur lequel le C.N.E.S. teste les maquettes de lanceur : en particulier, les sources sont placées à la base d'une maquette très simplifiée du lanceur ; l'antenne de microphones, implantée autour de la coiffe de la maquette, est semblable à celle que nous envisageons d'utiliser lors de la prochaine campagne d'essais sur maquette de lanceurs Ariane-V et Hermès, et à laquelle l'équipe P.A.P.E. devrait participer. Nous nous intéressons également à l'analyse temporelle des signaux de bruit des moteurs de lanceurs. Il nous a semblé utile de mettre en pratique les techniques d'analyse sur des bases d'ondelettes orthogonales. Le but est de déterminer s'il est nécessaire de donner un modèle évolutif du rayonnement acoustique des moteurs, ou si un modèle unique est suffisant pour décrire toute la phase de décollage.

Enfin, le C.N.E.S. désire comparer les prévisions de bruit faites à partir des essais sur maquette aux niveaux obtenus lors d'un lancement réel. Pour des raisons techniques, il est difficile d'embarquer un nombre suffisant de capteurs microphoniques. Il est par contre possible de disposer une série de microphones le long de la tour de lancement. Il nous a donc été proposé

d'examiner si, à partir de mesures faites sur une antenne linéique placée au voisinage de la trajectoire du lanceur, on peut reconstituer le champ acoustique qui arrive dans la région de la coiffe. Un projet de convention est actuellement en cours de négociation.

A la suite de cet ensemble d'études, l'équipe P.A.P.E. devrait participer à la campagne d'essais sur maquette Ariane-V et Hermès, qui devrait débiter au printemps 1992. Les résultats attendus par le C.N.E.S. sont une meilleure connaissance des caractéristiques de la répartition du champ acoustique auquel est soumise la coiffe ou la navette pendant la phase de décollage ; ces données serviront à dimensionner les équipements embarqués et les dispositifs de protection contre les sollicitations vibratoires.



Modélisation du champ acoustique
émis par des moteurs de lanceurs :
étude de faisabilité en salle anéchoïque

Modélisation de sources aléatoires

Par "sources aléatoires" nous entendons ici des sources qui émettent un signal dont la dépendance temporelle est un processus stochastique. La plupart des sources de bruit industrielles présentent une émission sonore complexe, dont le spectre peut être séparé en deux composantes : un spectre de raies et une composante à large bande à caractère plus ou moins aléatoire. C'est ce dernier aspect qui manque à nos études antérieures, et que nous nous attachons à développer maintenant. Ce travail fait l'objet de la thèse de M. Mazzoni, boursier M.R.T.

Nous avons actuellement établi deux résultats : la relation entre les caractéristiques du champ de pression émis par un ensemble de sources aléatoires et les paramètres qui caractérisent le modèle de source choisi ; la méthodologie à adopter pour déterminer les caractéristiques des sources à partir de mesures du champ de pression qu'elles rayonnent. Il faut noter que la modélisation en termes d'harmoniques sphériques utilisée pour le cas déterministe se transpose sans difficulté au cas aléatoire. La technique expérimentale d'acquisition des données expérimentales reste la même. La seule différence réside dans le traitement des données : nous avons montré que, à partir de la matrice interspectrale du champ acoustique, on peut remonter à la matrice interspectrale des processus qui définissent la source.

OR 19 Mécanique cardiovasculaire

F.Cassot, G.Tonietto, A.Daumas

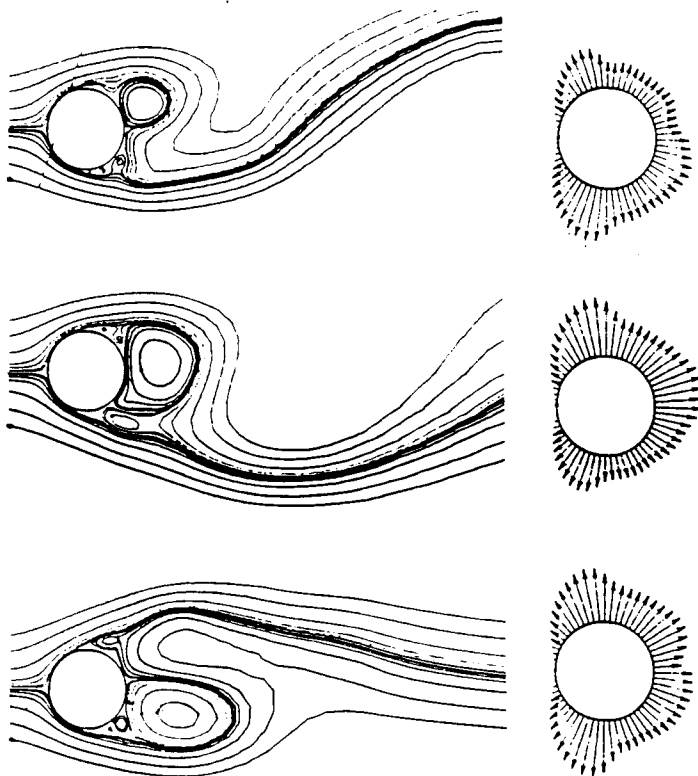
Cette activité de recherche s'est développée au sein de l'équipe de 1987 à 1990, en collaboration avec l'équipe de Biomécanique de l'I.M.F.M. Elle est actuellement terminée. En novembre dernier, a eu lieu la soutenance de thèse de M. G. Tonietto, intitulée "Etude numérique et expérimentale des écoulements post-valvulaires".

Le travail réalisé a consisté à comparer in vitro les caractéristiques hydrodynamiques de diverses prothèses valvulaires cardiaques et à développer un code numérique d'essai pour accélérer les tests et interpréter les phénomènes observés.

La simulation in vitro reproduit fidèlement les conditions physiologiques (géométrie, élasticité, signaux de pression et débit) et permet d'étudier, tant en position mitrale qu'aortique, les divers paramètres des écoulements, notamment des cartographies de vitesses à deux et trois dimensions reconstituées à partir de mesures ultrasonores. La simulation numérique est

basée sur une méthode d'équation intégrale (éléments finis de frontière) couplée à une méthode particulière, les effets visqueux étant simulés par une condition de Kutta-Joukowski aux points de décollement. Les particules tourbillonnaires sont convectées à l'aide d'un schéma lagrangien.

Les principaux résultats obtenus portent sur : i) l'écoulement intraventriculaire derrière des prothèses mécaniques : description détaillée de la structure évolutive de l'écoulement au cours du cycle cardiaque, mécanisme de formation du sillage post-valvulaire, localisation de zones de stagnation, importance relative des tourbillons ventriculaires suivant le type de valve, essais de prototypes ; ii) des visualisations d'écoulements et des reconstructions 2D et 3D du champ des vitesses, en position aortique, à proximité immédiate de la valve où le sillage est particulièrement complexe et très peu étudié; des comparaisons entre divers types de prothèses classiques (à bille, à disque, à deux feuillets) ou de prototypes (Pr.Carpentier - Hop.Broussais) ; iii) le code numérique bidimensionnel, appliqué aux écoulements intraventriculaire ou aortique, permet d'en simuler les principales caractéristiques en bon accord qualitatif avec les études expérimentales; ce code permet d'étudier l'influence de nombreux paramètres tels que fréquence et débit cardiaques, position des pivots, orientation de la valve, etc..



Forces excitatrices induites par un écoulement
instationnaire sur une structure cylindrique
(simulation numérique).

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, européen, international.

L'activité de l'équipe P.A.P.E. donne lieu à des contacts suivis avec les organismes industriels ou de recherche suivants : Electricité de France, C.N.E.S., la D.R.E.T., le G.E.R.D.S.M. (Le Brusc),... Ces contacts ont lieu à l'occasion de conventions, dont les thèmes ont été présentés aux paragraphes précédents, et également dans le cadre de direction de thèses. Plusieurs membres de l'équipe assurent actuellement la direction d'étudiants en thèse, travaillant à E.D.F., au G.E.R.D.S.M. et à l'Aérospatiale (Cannes).

D'autre part, les installations lourdes (chambre anéchoïque, salles réverbérantes, galeries à impédance) dont bénéficie l'équipe lui permettent d'établir des contacts avec des organismes, régionaux ou non, aussi divers que la ville de Marseille ou les Chantiers Navals Industriels de la Méditerranée qui s'intéressent, à divers titres, à la détermination des propriétés acoustiques de matériaux.

En ce qui concerne les laboratoires universitaires ou C.N.R.S., l'équipe a des contacts très réguliers avec les deux laboratoires de Mécanique de Marseille (I.M.F.M. et I.M.S.T.) et le Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (L.I.M.S.I.). Des échanges réguliers ont également lieu avec les autres laboratoires d'Acoustique français, tels que l'I.N.S.A. de Lyon et l'Université de Corte.

Sur le plan international, en 1989-90, trois programmes de collaboration européens ont été développés, pour lesquels sont déjà sorties ou devraient sortir prochainement des publications communes :

- la première avec le département d'Acoustique de l'Université de Trondheim (Norvège), sur le développement de méthodes numériques et expérimentales appliquées à l'Acoustique des salles ;
- la seconde avec le groupe d'Acoustique de l'Université de Bradford (Grande-Bretagne), sur les méthodes d'équations intégrales appliquées aux problèmes d'Acoustique et Vibrations dans l'Environnement.

Ces deux programmes ont fait l'objet d'un soutien financier du C.N.R.S., de la Royal Society et de la N.A.V.F. (Norvège), pour l'année 1990.

La troisième collaboration a lieu avec l'Institute of Applied Physics (T.N.O./T.P.D.) de Delft (Pays-Bas), sur le rayonnement acoustique de structures vibrantes.

Enfin, en ce qui concerne les projets, l'équipe est associée à l'I.M.F.M. (équipe Aéroacoustique) pour développer une collaboration avec le Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Victoria, Australie) dans le cadre d'une demande de P.I.C.S.

Publications 1989 et 1990

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

P.FILIPPI Rayonnement d'une structure vibrante en fluide léger... Journal d'Acoustique, 1989, vol. 2, p.39-45.

P.FILIPPI et D.HABAULT Sound radiation by a baffled cylindrical shell :...Part 1, Journal of Sound and Vibration, 1989, vol. 131(1), p.13-23.

D.HABAULT et P.FILIPPI Sound radiation by a baffled cylindrical shell... Part 2, J.S.V., vol. 131(1), p.25-36.

D.HABAULT Propagation d'ondes vibratoires dans un sol, Journal de Physique, 1990, tome 51, Suppt au n°2, p.29-32.

D.HABAULT Propagation d'ondes dans un sol stratifié avec obstacle, Journal de Physique, 1990, tome 51, Suppt au n°7, p. 83-89.

P.O.MATTEI Rayonnement acoustique d'une coque cylindrique infinie périodiquement raidie, subissant des contraintes localisées et immergée dans un fluide lourd, Journal de Physique, 1990, tome 51, Suppt au n°2, p. 403-406.

P.O.MATTEI Rayonnement acoustique d'une coque cylindrique infinie périodiquement raidie, immergée dans un fluide lourd, par une méthode d'équations intégrales de frontière, Journal de Physique, 1990, tome 51, Suppt au n°7, p. 187-190.

U.KRISTIANSEN et P.FILIPPI Prédiction et analyse des performances des salles de spectacle :..., Journal de Physique, 1990, Suppt au n°2, p. 1113-1116.

P.FILIPPI et J.P.SESSAREGO Application de la théorie spectrale aux problèmes de diffraction-diffusion et de rayonnement acoustique, Journal de Physique, 1990, Suppt au n°7, p.63-72.

Publications de conférences à des colloques avec "actes"

P.FILIPPI Application of perturbation techniques to the prediction of the sound field radiated by a vibrating structure in gas. InterNoise 89, Newport Beach (U.S.A.), décembre 1989.

D.HABAULT Propagation of vibrations in a layer of ground. InterNoise 89, Newport Beach (U.S.A.), décembre 1989.

P.FILIPPI et D.HABAULT Sound radiated by a baffled cylindrical shell. Congrès A.S.M.E., San Francisco (U.S.A.), décembre 1989.

D.HABAULT Propagation of vibrations in a layer of ground. Congrès EuroBEM 90, Nice, mai 1990.

P.O.MATTEI Calculation of the displacement vector of a fluid-loaded stiffened cylindrical shell under constraints. Congrès EuroBEM 90, Nice, mai 1990.

G.TONNETTO, F.CASSOT, R.RIEU et R.PELISSIER Experimental and numerical velocity field downstream prosthetic valves in aortic position. 1st World Congress of Biomechanics, La Jolla, USA, 1990.

G.TONNETTO, F.CASSOT, R.RIEU et R.PELISSIER Near-velocity field downstream prosthetic valves in aortic position. XVIIth ESAO (European Society of Artificial Organs) Congress, Bologne, Italie, 1990.

Ouvrages de synthèse

F.CASSOT, R.PELISSIER et G.TONNETTO Vorticity formation and transport from mechanical heart valve prostheses : experimental and numerical simulations, Bio-Mechanical Transport Processes, 1990, Plenum, New-York, p.105-114.

Publications de conférences à des colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

D.HABAULT Etudes développées au L.M.A. sur la réflexion d'une onde sonore par une interface. Journée d'Information I.N.R.S., Nancy, mai 1989.

F.CASSOT, R.PELISSIER et G.TONNETTO Vorticity formation and transport from mechanical heart valve prostheses. Experimental and numerical simulation. EUROMECH 259, Cargèse, octobre 1989.

D.HABAULT Propagation d'ondes vibratoires dans un sol. 8ème Symposium "Bruit et Vibrations", La Rochelle, France, mai 1990.

F.CASSOT, P.FILIPPI Influence d'un écoulement sur la mise en vibration et le rayonnement acoustique d'une structure cylindrique. 27ème Colloque d'Aérodynamique Appliquée, Marseille, 1990.

Thèses soutenues

P.VIDORET Interaction d'une onde acoustique plane avec un réseau plan simplement ou doublement périodique par la technique des équations intégrales spécialisées. Doctorat Université Aix-Marseille II en Acoustique et Dynamique des Vibrations, novembre 1990.

G.TONNETTO Etude numérique et expérimentale des écoulements post-valvulaires. Doctorat Université Aix-Marseille II en Mécanique des Fluides, novembre 1990.

Notes ou rapports internes :

P.O.MATTEI Vibrations des structures élastiques, approximation des corps minces. Note L.M.A. 114, octobre 1989.

E. ACOUSTIQUE SOUS-MARINE & ULTRASONS

Equipe Acoustique Sous-Marine et Ultrasons (U.S)

Responsable : C.GAZANHES

Orientation générale

Depuis quatre ans la structure de l'équipe a radicalement changé tant au niveau des thèmes de recherche qu'au niveau des moyens.

En ce qui concerne le nombre des opérations de recherche celui-ci est passé de 6 opérations en 1987 à 2 opérations en 1991. Pourquoi un tel changement ? Il est dû pour partie au départ à la retraite ou au départ dans d'autres équipes du Laboratoire, de chercheurs et d'ingénieurs et pour partie à la volonté d'harmoniser les recherches de l'équipe afin d'en améliorer la qualité en évitant la dispersion.

Pour ce faire nous avons supprimé l'OR "Etude des milieux diphasiques" dont les travaux ont été conclus par la soutenance de la thèse de l'université de Mlle O.Gérard et nous avons intégré les travaux de l'OR "Propagation en milieu marin" à l'OR "Modèles géoacoustiques" qui devient un axe de recherche important de notre équipe. Sur cet axe nous allons recruter un chargé de recherche et un ingénieur de recherche en 1991.

L'autre grand thème qui poursuit son développement est lié à l'analyse des échos de cibles.

Pour réussir cette restructuration nos efforts ont porté sur les grands équipements.

Tout d'abord la construction et la mise en service de la grande "cuve océanique" en 1987. Confinancé par la DRET, le Conseil Régional PACA et le SPI; cet équipement a déjà permis de réaliser la partie expérimentale de deux thèses de l'université.

La mise en place d'un réseau "informatique" local, l'achat d'équipements modernes tels que calculateurs, systèmes d'acquisition et analyse des signaux performants donnent accès au centre de calcul du LMA, et à terme à travers le réseau R3T2 aux super calculateurs mis en place dans la région.

Enfin maintenant nous passons à l'informatisation et à l'automatisation des différentes cuves de mesure.

Cette phase transitoire est en voie d'achèvement et l'équipe grâce à ces nouveaux moyens pourra faire face aux problèmes scientifiques et technologiques tels qu'ils se posent actuellement.

Sur le plan de l'enseignement l'équipe est particulièrement impliquée au niveau du DEA d'acoustique et de dynamique des vibrations, au niveau du DEA d'Océanologie, de l'enseignement de l'acoustique à l'ESIM et même est fortement sollicitée dans le cadre de cours de formation pour différents organismes.

Concernant le personnel, l'équipe a vu le départ à la retraite en 1987 d'un chercheur et de trois ITA et verra le départ de deux ITA dont un ingénieur de recherche en 1991-1992. Grâce à la direction du SPI que nous tenons à remercier au passage, nous allons recruter un chercheur et un ingénieur de recherche, recrutement qui va nous permettre d'assurer la continuité de nos travaux et la stabilité de notre personnel qui compte parmi ses membres deux ingénieurs de recherche sur contrat à durée déterminée. Nous avons également trois étudiants en thèse, un stagiaire de DEA et un scientifique du contingent.

Le côté "ouverture sur les pays de l'Europe" se manifeste à la fois par la participation de chercheurs à un programme européen, le programme MAST I, mais aussi par l'accueil régulier de stagiaires de la communauté qui viennent accomplir des séjours dans notre équipe. C'est ainsi que des collaborations hors programme européen ont été mises en place avec des universitaires suisses et belges.

Au niveau régional, l'équipe s'est donné une ouverture vers le milieu industriel grâce à sa participation au Groupe de Productique Océanique et au Groupe Thématique "Travail en milieu extrêmes", mis en place par le Conseil Régional PACA. D'autre part dans le cadre de la Route des Hautes Technologies nous envisageons de construire à La Ciotat une base de mesures acoustiques à la mer. Cette construction s'intégrera dans le projet du Pôle Technologique Milieux Extrêmes devant se mettre en place à la Ciotat.

Activités de recherche

OR 221 Propagation en milieu marin

C.Gazanhes, J.L.Garnier, P.Cristini, M.Obadia, R.Condat, J. Kurkdji

L'objet de cette opération de recherche est l'étude de la propagation des ondes sonores en eau peu profonde, par petits fonds marins. Cette propagation en milieu confiné, qui correspond au cas des zones côtières est modélisée, en cuve acoustique, par une couche d'eau isocélère reposant sur un fond fluide sédimentaire, élastique rocheux ou leurs combinaisons.

Dans un premier temps, nous avons adapté les modèles théoriques classiques correspondant aux fonds fluide ou élastique, au cas du modèle réduit en cuve acoustique. Dans les deux cas le champ acoustique résultant de l'émission d'une source sonore ponctuelle et monochromatique s'écrit sous la forme d'une série de modes de propagation.

Les propriétés d'orthogonalité des fonctions modales sont à la base de nos études sur le filtrage des modes. Nous avons montré qu'un réseau vertical de capteurs, convenablement pondérés, se comportait comme un véritable "filtre spatial de modes" offrant l'intérêt de séparer chaque mode en éliminant leurs interférences. Cette séparation permet de mesurer les vitesses de propagation modale, et celles-ci une fois connues d'imaginer des antennes émettrices focalisant le signal à une distance connue à l'avance, par traitement séquentiel des pondérations des émetteurs de l'antenne. Cette maîtrise des pondérations offre la possibilité de balayer de manière continue, toutes les valeurs possibles des angles d'excitation des modes, le maximum du signal reçu correspondant alors à la valeur d'un angle d'excitation, nous avons là un dispositif bien adapté à la "spectroscopie angulaire modale". La mesure des angles d'excitation est nécessaire pour estimer la valeur des célérités du son dans le fond marin. C'est cette possibilité qui nous a poussés à étudier la propagation en présence d'un fond stratifié. Cette étude nous a permis de faire apparaître le coefficient de réflexion d'un fond marin comme un paramètre fondamental régissant la propagation. Vu sous cet angle nous avons regardé les cas simples des fonds fluide ou solide semi-infinis puis nous avons tout particulièrement abordé le cas du modèle dit "Géoacoustique" constitué d'une couche fluide simulant la présence de sédiment reposant sur un fond élastique semi-infini, analogue au socle rocheux que l'on rencontre dans la nature. Une étude paramétrique portant sur l'influence de l'épaisseur de la couche de sédiment nous a montré que la présence d'onde d'interface du type de Stoneley, pouvait perturber théoriquement la structure des modes, et le champ sonore dans la couche d'eau.

Nous avons ensuite abordé le problème du calcul du coefficient de réflexion d'un milieu stratifié, modèle de fonds marins. Pour ce faire la méthode de Thomson-Haskell utilisée par ailleurs, s'est avérée instable pour des valeurs importantes du paramètre réduit, produits de la fréquence d'émission par l'épaisseur totale du milieu stratifié. Pour palier cet inconvénient nous nous sommes tournés vers la méthode de Kennett issue de la sismique. Partant de là nous avons essayé et mis au point une méthode d'analyse du champ sonore, basée sur la transformée de Fourier du signal issu d'un capteur se déplaçant à vitesse constante dans le milieu marin (ici la couche d'eau du modèle réduit). On obtient ainsi après traitement, un spectre de fréquences dont les raies transposées correspondent aux angles d'excitation des modes. L'acquisition des données à partir du capteur mobile, a été entièrement informatisée ; numérisation, mise en mémoire sur ordinateur PC, mise au point de logiciels permettant d'augmenter le pouvoir de résolution de la méthode, nous ont conduits à faire des tentatives d'identification de paramètres (célérité et masse volumique) dans le cas d'un fond fluide semi-infini.

En pratique, en mer, les informations sont obtenues, à partir d'une antenne horizontale remorquable de grande dimension. Nous avons donc étudié, réalisé et mis au point une antenne comportant 75 récepteurs miniatures suivis d'autant d'amplificateurs et d'égaliseurs de réponse entre 30 et 80 kHz. Le système est couplé à 75 "voies" à commande de gain où l'on introduit les pondérations scalaires nécessaires au filtrage des modes. Celles-ci peuvent être quelconques et variables à loisir si l'on veut faire de la spectroscopie modale, mais dans le cas du filtrage, elles sont calculées à partir des nombres d'onde horizontaux régis par les angles d'excitation entretenue par l'un des trois types de fonds marins modélisés. Cette antenne horizontale convenablement pondérée dans la couche d'eau de la cuve acoustique, a donné les résultats suivants. Le "gain d'antenne" pour chaque mode excité dans la cuve, est conforme aux résultats des calculs basés sur la théorie, à condition que les longueurs d'ondes restent supérieures à l'espacement et à l'encombrement des capteurs (conditions non remplies si le modèle est non réduit par le facteur d'échelle). A 50 kHz, les directivités de l'antenne données par l'expérience et qui résultent des pondérations modales, sont voisines des directivités calculées, les résultats du filtrage sont homogènes aux précédents. Enfin en bon accord avec les prévisions du calcul la résolution angulaire maximale a été observée sur les modes d'ordres élevés, soit sur les angles proches de la normale à l'antenne.

Cette étude fait l'objet d'un soutien constant du Groupe III de la DRET, et une partie de cette recherche constitue le travail de Thèse de Paul Cristini qui bénéficie d'une bourse de recherche DRET/CNRS.

Actuellement, dans le cadre d'une convention DRET, nous cherchons à estimer la valeur des célérités et des masses volumiques de divers matériaux simulant le fond marin, à partir de la spectroscopie angulaire obtenue à l'aide de l'antenne horizontale, combinée à l'analyse spectrale du signal.

A moyen terme nous envisagerons :

- l'application de l'antenne horizontale à la localisation de sources par traitement différé des signaux (Projet en collaboration avec Thomson-Sintra, pour l'exercice juin 1991-septembre 1992.)
- Installation de l'instrumentation de l'antenne et de son réseau souple de capteurs dans la grande cuve océanique, afin de poursuivre les études relatives à l'identification des fonds marins. Ce réseau placé dans un espace plus vaste répondra mieux aux critères de petites dimensions, vis à vis de la longueur d'onde pour des fréquences inférieures à 50 kHz. (Actuellement l'antenne est utilisée entre 50 et 80 kHz). Son installation dans la cuve océanique est prévue à partir de janvier 1993.

A plus long terme cet appareillage pourrait devenir un instrument privilégié de modélisation de problèmes de sismique-réflexion.

Depuis janvier 1991 l'opération de recherche 221 est rattachée à l'opération "Modèles Géoacoustiques", et ne sera donc plus reconduite dans sa forme ancienne.

OR 202 Etude des milieux diphases

C.Gazanhes, G.Saracco, O.Gérard, J.Léandre, J.P.Hérault, R.Holtzer, J.L.Arnaud, R.Codat

Dans le contexte de la propagation acoustique en milieu marin, nous nous sommes intéressés depuis quatre ans à deux types de problèmes bien particuliers.

Le premier, sur l'étude de la transmission acoustique air-eau en régime harmonique, a mis en évidence l'existence d'ondes inhomogènes pour des angles d'incidence supérieurs à l'angle critique. Ces ondes à décroissance exponentielle avec la profondeur et la fréquence, pénètrent d'autant mieux dans le milieu que la fréquence du signal émis est basse. Ces ondes "latérales" interfèrent avec le champ réfracté. L'étude expérimentale en cuve acoustique nous a permis de détecter ces interférences prévues par la

théorie et le calcul numérique. Cette étude réalisée dans le cadre d'une convention de recherche avec la DCAN est terminée depuis 1989 et a donné lieu à la Thèse de l'Université d'Aix-Marseille II soutenue le 10.10.1989 par Mme G.Saracco sous le titre "Propagation Acoustique en régime Harmonique & Transitoire à travers un milieu inhomogène Méthodes asymptotiques et Transformation en ondelettes". Nous avons également étudié expérimentalement la transmission acoustique en présence d'un interface air-eau agitée. Les résultats obtenus montrent d'une part que pour une houle périodique, l'analyse de la distribution d'amplitude de la pression permet de retrouver la périodicité de l'état de surface et d'autre part qu'indépendamment du type de houle (houle pseudo périodique), le signal transmis se trouve amplifié par rapport à celui observé lorsque le dioptré est parfaitement plan.

Le deuxième problème porte sur la propagation dans un milieu diphasique eau-bulles d'air dans le but de caractériser des sillages de navires par voie acoustique.

Le modèle théorique repose sur les résultats connus de l'acoustique des bulles :

- Comportement d'une bulle plongée dans un champ acoustique ; oscillation, fréquence de résonance, évolution des sections efficaces en fonction de la fréquence.
- Propagation dans un nuage de bulles ; population de bulles, diffusion multiple dispersion de vitesse, atténuation.

Le sillage est modélisé par un rideau de bulles dont on détermine les effets à partir des coefficients de réflexion et de transmission. Pour calculer ces différents coefficients nous avons mis en oeuvre quatre méthodes différentes

- La méthode du milieu diphasique indéfini, où le facteur de transmission est simplement calculé à partir de l'atténuation, partie imaginaire du nombre d'onde. On fait l'hypothèse onde plane. La diffusion multiple est prise en compte de façon rigoureuse par l'intermédiaire du nombre d'onde mais les frontières du rideau n'interviennent pas.
- La méthode de la lame diphasique à faces parallèles, où les facteurs de réflexion et de transmission sont calculés à partir du nombre d'onde dans chacun des milieux, en utilisant la loi de Snell-Descartes et les conditions de continuité à l'entrée et à la sortie du rideau. On fait l'hypothèse onde plane. La diffusion multiple est prise en compte de façon rigoureuse par l'intermédiaire du nombre d'onde ainsi que l'effet de couche, dû aux frontières du rideau.

- La méthode du volume réverbérant avec atténuation, où la contribution de chaque bulle est sommée par l'intermédiaire des sections efficaces (hypothèse d'incohérence). Pour le facteur de transmission, c'est la section efficace totale qui intervient, et on fait l'hypothèse onde plane. Pour la réflexion, on considère une décroissance du champ en $1/r$, et on somme la contribution des bulles situées dans le cône de directivité des transducteurs. On effectue un calcul de réverbération, en tenant compte de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées (la section efficace totale intervient donc). Le facteur de réflexion est alors assimilé au facteur de réverbération. Dans cette méthode, il n'y a pas d'effet de couche due aux frontières du rideau, et la diffusion multiple n'est pas prise en compte de façon rigoureuse.
- La méthode du volume réverbérant simple, est une simplification de la méthode précédente. On calcule seulement le facteur de réflexion sans tenir compte dans le calcul de l'intensité renvoyée par une bulle, et de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées.

Pour toutes ces méthodes une étude paramétrique montre que le maximum du facteur de réflexion et le minimum du facteur de transmission ne correspondent pas à la fréquence de résonance des bulles les plus nombreuses mais à une fréquence inférieure (correspondant à la résonance des bulles de plus grande taille ayant de ce fait une section efficace plus importante). Plus la population de bulles est large, plus la fréquence de ces extrema est faible. Pour une population large, elle est très inférieure à la fréquence de résonance des bulles les plus nombreuses.

Dans le cas du facteur de réflexion, la méthode de la lame diphasique à faces parallèles suppose une onde plane et donne le facteur de réflexion global. Quand le taux d'air est faible, ce facteur présente de nombreuses oscillations qui correspondent aux aller et retour dans le rideau. Quand le taux d'air est élevé, l'atténuation devient importante et il ne reste des oscillations que pour les basses fréquences.

Les deux méthodes de réverbération supposent une décroissance du champ en $1/r$. De plus, les conditions expérimentales interviennent directivité des transducteurs, distance des transducteurs au rideau, et durée du signal d'émission. Dans un premier temps, afin de comparer ces méthodes, nous avons considéré un facteur de réflexion global.

Pour un taux d'air faible, le maximum de réflexion pour la méthode de la lame diphasique à faces parallèles est nettement inférieur à celui des deux méthodes de réverbération, de même que la fréquence de ce maximum.

Pour un taux d'air élevé, le maximum du facteur de réflexion est du même ordre de grandeur pour la méthode de la lame diphasique à faces parallèles que pour celle du volume réverbérant avec atténuation. Par contre la méthode du volume réverbérant simple donne une réflexion beaucoup plus importante, ce qui montre qu'on ne peut négliger l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées. Cette méthode n'est donc utilisable que pour les taux d'air et les épaisseurs faibles.

Pour le facteur de transmission, la différence entre la méthode du volume diphasique indéfini et celle du volume réverbérant est que la première tient compte de la diffusion multiple de façon plus rigoureuse. La différence entre la méthode du volume diphasique indéfini et la méthode de la lame diphasique est que dans la première on considère un volume indéfini, et dans la deuxième un rideau avec deux frontières bien définies. Les méthodes donnent le même résultat, sauf pour un taux d'air élevé où la méthode du volume réverbérant surestime l'atténuation car il y a recouvrement des sections efficaces et la diffusion multiple devient alors importante. Le fait que la méthode du volume diphasique indéfini et celle de la lame diphasique à faces parallèles donnent le même résultat montre que considérer un rideau avec deux frontières bien définies (méthode de la lame diphasique à faces parallèles) ou considérer un volume indéfini (méthode de la lame diphasique indéfinie et du volume réverbérant) est équivalent.

Pour la comparaison théorie-expérience nous avons effectué les mesures dans une cuve acoustique. Elles ont été difficiles à réaliser à cause de l'instabilité du milieu diphasique et du taux d'air peu élevé donné par le générateur de bulles. Toutefois les traits saillants de la théorie ont pu être mis en évidence :

- position des fréquences des extrema de réflexion et de transmission.
- importance de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées dans les méthodes de réverbération pour le facteur de réflexion global, elle entraîne le décalage du maximum de réflexion vers les basses fréquences quand l'épaisseur du rideau ou le taux d'air augmente.

Cette étude a été soutenue par l'ECAN de St Tropez et a donné lieu à la Thèse de l'Université d'Aix-Marseille II soutenue le 01-02-1991 par Odile Gérard sous le titre "Propagation Acoustique dans un milieu diphasique eau-bulles d'air facteurs de réflexion et de transmission d'un rideau de bulles.

Les études relatives à cette Opération de Recherche étant terminées, celle-ci ne sera pas reconduite en 1991.

OR 222**Modèles Géoacoustiques**

C.Gazanhes, G.Rabau, J.P.Hérault, J.Léandre, R.Holtzer,
J.L.Arnaud, R.Condat, J.Kurkdji

Cette opération de recherche, qui a débuté en 1987, a pour but d'une part, de mettre au point et de caractériser par voie acoustique des matériaux stratifiés destinés à simuler des fonds marins et d'autre part de reproduire en cuve à échelle réduite des profils verticaux de célérité d'allures semblables à ceux que l'on trouve dans le milieu marin...

Cette recherche débouche sur la modélisation de problèmes de propagation acoustique avec prise en compte de l'environnement marin.

Modélisation de fonds marins.

a) La réalisation de fonds synthétiques simulant le plus exactement possible les couches réelles des sous-sols marins est maintenant possible grâce aux études de matériaux composites faites par G.Rabau dans le cadre de sa thèse d'Université d'Aix Marseille II soutenue le 29.06.1990.

Avant de présenter les résultats acquis rappelons que les fonds marins réels sont formés d'une superposition de deux types de matériaux une ou plusieurs couches fluides d'une épaisseur de quelques dizaines de mètres reposant sur une ou plusieurs couches élastiques réunies en un ensemble semi-infini. Pour la réalisation de ces milieux nous avons utilisé les matériaux composites. Faciles d'emploi, ils présentent une gamme de choix très vaste et possèdent des qualités acoustiques remarquables. Chaque composite est réalisé à partir d'un liant et d'une ou plusieurs charges. Pour le modèle élastique nous avons sélectionné une résine polyester chargée de poudres métalliques (aluminium, tungstène, alumine) ou minérales (microbilles de verre). Les plaques fluides sont réalisées avec des élastomères (type R.T.V.) ou des résines polyuréthanes (DF 1013) composées d'une résine et d'un durcisseur qui joue le rôle de la charge. Selon la quantité de durcisseur le fluide créé a des caractéristiques acoustiques différentes. Toutes les couches ainsi fabriquées sont testées indépendamment les unes des autres, afin de déterminer leurs caractéristiques acoustiques. La théorie permet de calculer, pour ces plaques, le coefficient de réflexion. Une étude comparative entre les valeurs calculées et mesurées nous enseigne sur les qualités de simulation des modèles réduits réalisés. Enfin, des mesures et des calculs effectués dans le cadre de la propagation par petit fond confirment les résultats acquis auparavant, à savoir le DF 1013 et les RTV conviennent très bien pour simuler les différentes couches fluides alors que le B 2900 chargé se

comporte mal en tant que reproduction d'un fond élastique semi-infini. Nous avons donc, dans une première étape, fabriqué des plaques de DF 1013 de dimensions 1000 x 850 x 40 (L x l x h) simulant un fond fluide sablonneux de vitesse longitudinale 1600 m/s (vitesse transversale nulle) et d'une épaisseur de quelques centaines de mètres. Ces fonds composites tapisseront une partie du fond de la cuve océanique.

b) Etude théorique des fonds marins en tant que milieux stratifiés

Pour étudier le comportement acoustique d'un fond marin assimilé à un milieu multicouche nous avons mis en oeuvre le formalisme matriciel de Thomson en considérant le milieu sollicité par une onde plane en incidence oblique.

L'étude, abordée sous l'aspect du problème direct, a permis d'aboutir à l'élaboration d'un algorithme de calcul, valable dans le cas de couches solides élastiques et pouvant s'étendre au cas des couches fluides d'une part, et au cas de couches fluides reposant sur un substrat solide semi-infini d'autre part ; ce dernier cas correspond à un modèle de fond marin stratifié (stratification de couche sédimentaire de type fluide reposant sur un socle rocheux de type élastique, le tout étant surmonté d'une couche d'eau relativement épaisse).

La modélisation théorique et numérique d'un exemple typique de profil océanique constituée par l'empilement eau/sédiment/substrat permet de caractériser le milieu par son réseau de courbes vitesse de phase en fonction de la fréquence et son coefficient de réflexion en fonction de l'incidence (à une fréquence donnée) ou en fonction de la fréquence (à une incidence donnée), en rendant compte du comportement global du profil océanique et ceci, quel que soit le nombre de couches impliquées et leur nature. Ainsi nous avons appliqué notre modèle à un cas concret, celui d'un socle de gneiss (élastique) recouvert de deux couches de sédiments (sable et argile), le tout surmonté d'une couche d'eau d'épaisseur importante simulant le milieu marin.

Appliquée à la caractérisation des modèles synthétiques de fonds marins une étude comparative entre les coefficients de réflexion théorique et expérimental nous informe sur la validité de simulation des maquettes réalisées et, par voie de conséquence, sur leurs aptitudes à reproduire les propriétés du milieu naturel.

c) Simulation de bathycélérimétries

Le milieu marin n'est pas isocélère. En effet, dans les mers et océans la vitesse de propagation des ondes acoustiques varie avec la profondeur (variations de température, de salinité, de densité,...). En général, elle décroît jusqu'à une certaine profondeur, passe par un minimum, pour ensuite augmenter régulièrement jusqu'aux grandes profondeurs. Dans le cadre de nos premières études de simulation de bathycélérimétries nous avons montré, en nous inspirant des travaux de A.N.Barkhatov, que par la mise en oeuvre de la technique dite "de diffusion" nous pouvons réaliser dans une couche de liquide une variation verticale de célérité passant, comme dans le milieu marin, par un minimum. Rappelons que cette technique consiste à superposer, en couches, sans les mélanger plusieurs liquides miscibles de masses volumiques différentes, croissantes à partir de la surface. Ces liquides qui diffusent lentement entre eux créent des profils verticaux de densité à partir desquels on déduit des profils de célérité. Nos premières études mettaient en jeu de relativement faibles volumes (< 250 litres) de liquide et utilisaient une technique de remplissable par le fond. Pour mettre en place un profil vertical de célérité dans la cuve océanique du laboratoire il faut manipuler des volumes beaucoup plus importants des différents liquides. En outre on devra remplir la cuve, non plus par le fond, mais à partir de la surface libre. En effet, le fond de la cuve n'est pas accessible et, il sera tapissé de dalles synthétiques simulant les fonds marins. Cette nouvelle étape fait l'objet des travaux actuellement en cours conduits dans le cadre d'un contrat avec le GERDSM. Jusqu'à présent, pour réaliser des profils bathycélérimétriques nous avons appliqué la technique dite "de diffusion". Deux profils ont été obtenus de cette façon :

- Un profil dit "Barkhatov" à très fort gradient vertical de célérité en superposant des liquides miscibles différents sur une hauteur de 46 cm.
- Un profil réel dit "TROP EST ETE 4000" en superposant successivement 3,5 et finalement 7 couches de liquides miscibles différents sur deux hauteurs ; 20 et 40 cm.

De plus, les niveaux de la pression acoustique que nous avons à l'intérieur des strates liquides après diffusion de celles-ci, sont en accord avec les calculs numériques des diagrammes de transmission acoustique. La figure ci-après illustre les résultats obtenus dans le cas du profil de Barkhatov à 4 strates après 43 heures de diffusion.

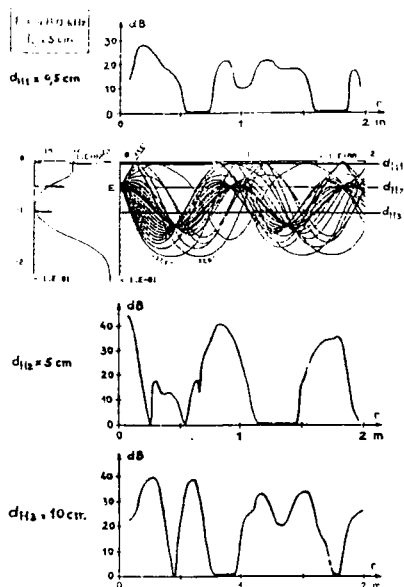


Diagramme des rayons de propagation avec 3 courbes de niveaux de la pression acoustique mesurée à des profondeurs caractéristiques.

d) Perspectives à moyen terme

Le but de cette étude est de réaliser une maquette complète simulant la propagation acoustique dans la zone de transition petit fond - grand fond. A partir de l'approximation parabolique nous allons développer des algorithmes de calculs permettant de prévoir les pertes de propagation dans cette zone de transition. Nous étudierons successivement le problème des petits fonds, le cas du fond en pente, enfin la transition petit fond - grand fond. J. PIRAUX qui a rejoint l'équipe en Octobre 1990 sera plus particulièrement chargé des études théoriques de propagation dans le cadre de l'approximation parabolique.

L'ensemble de ce travail va faire l'objet d'une convention générale d'étude sur une durée de trois ans avec le GERDSM le Brus (DCAN). Cette convention débutera le 1er janvier 1992.

Les recherches relatives à l'OR 221 qui porte sur la propagation par petits fonds est rattachée à partir du 1er janvier 1991 à l'OR "Modèles Géoacoustiques". De ce fait l'OR 221 est supprimée.

OR 23**Structure d'échos et Imagerie Acoustique**

J.P.Sessarégo, J.Sageloli, M.Zakharia, C.Locqueteau,
J.P.Van Cuyck, J.L.Arnaud, J.Kurkdji

Cette opération de recherche qui est l'une des plus anciennes du laboratoire a bénéficié depuis pratiquement sa création d'un financement par le Groupe VI de la DRET. Ce financement a permis en particulier d'équiper de manière entièrement automatisée la cuve d'expérimentation et de doter les chercheurs de calculateurs et de systèmes d'acquisition de données particulièrement performants. Les résultats obtenus aussi bien sur les plans scientifiques que technologiques sont à la mesure des moyens qui ont été consacrés pour effectuer ces recherches.

Initialement cette opération de recherche avait été créée pour étudier les comportements des cibles vis à vis des ondes acoustiques et les mécanismes de formation des échos avec des objectifs visant l'imagerie acoustique (échographie, tomographie). Ces points comme on va le voir, ont été systématiquement étudiés et une des premières conclusions est que l'on connaît maintenant parfaitement les mécanismes de la diffusion acoustique au moins pour les cibles élémentaires qui ont été étudiées. L'accord expérience-théorie dans le cas de la prévision et de la mesure du champ diffracté par des cibles cylindriques ou sphériques est excellent.

Ces études ont fait appel très tôt à des techniques modernes d'analyse du signal, (Wigner-Ville, ondelettes ...) mais elles ont permis aussi de vérifier dans certains cas les performances de ces mêmes techniques dans des situations où on ne les connaissait pas bien. Les résultats obtenus sont suffisamment intéressants pour être soulignés ici. Dans ce domaine les travaux français servent souvent de références. En particulier les travaux menés au LMA en collaboration avec d'autres équipes sur l'utilisation de la transformation de Wigner-Ville et sur l'utilisation de la transformation en ondelettes sont parmi les premiers travaux dans ce domaine. Ces études ont été fortement développées durant les 4 années précédentes et se sont traduites par un nombre relativement important de publications (thèses, colloques, communications dans des revues ...).

Les études qui ont été menées dans cette opération de recherche, ont été réalisées en collaboration avec d'autres équipes (le LCTAR pour ce qui est de la diffusion acoustique proprement dite, l'ICPI pour les techniques d'analyse du type Wigner-Ville, et l'équipe d'informatique musicale du LMA pour l'utilisation des ondelettes en vue de la caractérisation des cibles).

Nous allons rappeler maintenant les différentes études qui ont été menées dans le cadre de cette OR et analyser leur degré d'avancement, leur impact et de quelle manière elles vont être poursuivies.

Trois grandes études ont été abordées dans ce thème :

- La plus ancienne, l'étude de la diffusion acoustique par des cibles métalliques immergées dans l'eau (sphères pleines et coques minces) est celle qui a bénéficié du soutien le plus important de la part de la DRET. Il s'agissait d'étudier théoriquement les mécanismes de formation des échos et de vérifier les résultats de calcul à partir d'expériences en cuve.
- On a ensuite étudié les problèmes de dispersion de vitesse d'ondes de type LAMB dans les plaques. Cette étude a été menée après avoir constaté l'apport des méthodes temps-fréquence à l'étude des milieux dispersifs.
- Enfin , on a étudié la diffusion acoustique par des dièdres élastiques pour prévoir les échos diffusés par des arêtes métalliques. Cette étude est effectuée par un étudiant qui doit soutenir sa thèse au cours des prochains mois.

Pour ce qui concerne les projets à moyen terme, on envisage de travailler encore pendant 2 ou 3 ans sur la diffusion acoustique par des cibles élastiques, et en particulier sur les trois sujets suivants qui sont fortement liés :

- Diffusion acoustique par une répartition aléatoire d'objets sphériques ou cylindriques (application à l'étude de la diffusion par le plancton).
- Etude et analyse d'échos de cibles quelconques au moyen de représentations temps-fréquence.
- Diffusion acoustique par un réseau périodique de plusieurs cibles sphériques et étude du champ acoustique diffracté dans tout l'espace, à l'aide de représentations du type Wigner-Ville.

1. Diffusion acoustique par une répartition aléatoire de particules application à la détection du plancton marin.

C'est une étude qui a débuté depuis un an, en collaboration avec des chercheurs du Laboratoire d'Océanologie de Marseille-Luminy et qui fait suite à toutes les études menées dans notre équipe sur la diffusion acoustique. Il s'agit de détecter le plancton marin par voie acoustique, et d'estimer ensuite ses caractéristiques (densité, taille ...). Quelques études théoriques ont été menées aux U.S.A., mais curieusement peu de travaux ont été entrepris en France. Pourtant, la détection de plancton est un

problème important, pour comprendre les écosystèmes marins. L'objectif que l'on s'est fixé, consiste à comprendre puis à interpréter les mécanismes de la diffusion acoustique par les particules marines, grâce aux études menées au laboratoire sur la diffusion par des cibles simples (sphères, cylindres ...) et en se servant aussi des études sur la diffusion multiple (OR 202) entreprises également depuis une dizaine d'années. Il s'agira de trouver la meilleure modélisation possible pour le plancton (sphère fluide ou coque élastique mince, remplie d'air ou d'eau) et de tester ensuite à partir d'essais expérimentaux en cuve, quelle est la modélisation théorique qui permet d'interpréter le plus facilement possible les phénomènes observés expérimentalement.

Mr. J.P. Van Cuyck étudiant inscrit en thèse au Laboratoire d'Océanologie de Marseille, travaille actuellement dans l'équipe, afin de développer un programme de recherche sur ces problèmes. Pour cela il a développé d'une part un système de mesure qui lui permet de déterminer avec précision l'énergie acoustique transmise ou réfléchi par une population donnée de particules (celles-ci peuvent être calibrées et comptées de manière très précise avant toute expérimentation acoustique) et d'autre part il a développé un certain nombre d'algorithmes lui permettant de prévoir théoriquement la réponse en réflexion ou en transmission de son ensemble de diffuseurs. Mr J.P. Van Cuyck qui a une formation d'acousticien, puisqu'il a présenté son D.E.A. d'Acoustique en Juin 1989 au L.M.A., est dirigé à la fois par un chercheur de Luminy pour la partie océanographie physique de son travail, et par un chercheur de l'équipe pour la partie acoustique. C'est là un bon exemple de coopération inter disciplines.

2. Analyse d'échos de cibles quelconques par des représentations temps-fréquence

En collaboration avec l'ICPI de Lyon, nous avons abordé depuis quelques années l'étude des échos de sphères par des représentations temps-fréquence. Ces études sont maintenant bien avancées et les résultats obtenus ont fait l'objet de nombreuses communications. Cependant, de nombreux points restent encore à développer, et il ne fait aucun doute que l'on puisse obtenir des informations plus complètes que celles que l'on a déjà mentionnées. En particulier, on envisage grâce aux propriétés relatives à l'énergie dans le plan temps-fréquence, de retrouver la perte d'énergie des ondes de surface au cours de leur propagation. On pourrait alors relier cette perte à un "coefficient de réémission". On envisage également d'effectuer dans le plan temps-fréquence du filtrage pour isoler des structures intéressantes et travailler ensuite sur ces composantes que l'on aura isolées. Soulignons aussi dans le domaine temps-échelle, les quelques essais d'applications de la transformée en ondelettes, effectués sur des

échos de coques sphériques de duraluminium. Pour l'instant nous n'avons obtenu que des résultats quantitatifs, mais les tout derniers travaux effectués par des chercheurs de l'équipe d'Informatique Musicale et de Physique Théorique (Luminy) montrent la possibilité d'accéder sous certaines conditions à des lois de modulation. Nous avons vérifié expérimentalement ces résultats théoriques sur quelques signaux rétrodiffusés par des sphères. Cette petite étude menée en collaboration avec G. Saracco, a fait l'objet d'une publication dans le Journal d'Acoustique.

3. Diffusion acoustique par un réseau périodique de cibles sphériques.

Comme cela a déjà été signalé plus haut, nous allons nous intéresser à la diffusion acoustique par un réseau de coques sphériques minces. Le but de ce travail consiste à étudier l'interaction acoustique entre plusieurs cibles de manière à comprendre le processus de formation des échos et voir si des ondes de surface générées sur des obstacles peut exciter des ondes de surface sur un autre obstacle. Nous nous proposons ainsi d'étudier dans quelle mesure une cible peut renvoyer de l'information même si la cible en question n'a pas été insonnée directement par le système d'émission. Ce travail qui doit débiter dès le premier trimestre 1991, fait l'objet d'un contrat de recherche passé avec le groupe VI de la DRET.

Parmi les projets à long terme que l'on va traiter dans cette opération de recherche il faut rajouter une étude relative à l'identification des fonds marins. Ce travail qui peut être rattaché à l'étude plus générale des milieux stratifiés, fait partie d'un projet européen MAST lancé en juin 1989. Ce projet baptisé projet A.C.I.D. (Acoustical Imaging Development) est en cours. Dans ce programme, notre action consiste à étudier comment on peut remonter à la nature du fond marin à partir des échos rétrodiffusés par le sonar. Cette recherche devrait intéresser ultérieurement les industriels qui réalisent des travaux à la mer (pose de câbles, étude des dépôts sédimentaires ...), mais devrait intéresser aussi les pêcheurs car la nature des fonds peut les renseigner sur les espèces qu'ils peuvent trouver. Ce travail est effectué en collaboration avec des chercheurs grecs (MM.Papadakis et Taroudakis) et des chercheurs de l'Université du Danemark (Pr.L.Bjorno). Avec l'ensemble des autres partenaires on étudie actuellement un projet de renouvellement dans le cadre du programme MAST II.

Les études menées aussi bien dans le domaine de la diffusion acoustique que dans le domaine de la propagation dans les milieux stratifiés, ont été soutenues et sont encore soutenues financièrement par des contrats (contrat

DRET pour ce qui concerne la diffusion acoustique et contrat de type européen pour ce qui est de la propagation dans les stratifiés).

Sur les différents thèmes étudiés des collaborations suivies ont été mises en place soit avec des partenaires français (ICPI, LCTAR, Université de Paris VII ...) pour la diffusion acoustique, soit avec des partenaires européens pour la propagation dans les stratifiés. Sur ce thème et hors contrat européen, des contacts ont été pris aussi avec le professeur Van Biesen, pour engager dès le début de l'année 1991, une collaboration entre l'Université de Bruxelles et l'équipe Ultrasons. Il faut noter enfin la collaboration avec des chercheurs de l'Université d'Alger, dans le cadre des accords CNRS/DPRS Algérie.

Situation et perspectives de la recherche dans les domaines national, européen, international.

a) au niveau national

Depuis quelques années, l'équipe a fait des efforts d'ouverture vers le milieu extérieur, vers d'autres laboratoires et d'autres équipes. Son potentiel scientifique et technologique lui permet de susciter des collaborations et d'attirer des partenaires pour conduire en commun certaines recherches.

Ceci a été rendu possible grâce aux efforts accomplis pour diversifier et améliorer les grands équipements existants. En particulier il a été développé dans le laboratoire des installations qui sont à l'heure actuelle tout à fait uniques en France. Celles-ci ont été conçues avec un souci de pouvoir s'adapter aux nombreuses exigences qui se posent dans des équipes menant des expérimentations quelquefois très lourdes. C'est le cas de la grande cuve océanique dans laquelle il est prévu d'étudier la propagation à grande distance, cuve qui doit permettre la création de houles artificielles, de bathycélérimétries ... de manière à recréer au mieux les conditions de propagation en mer.

L'équipe est connue actuellement à la fois pour les travaux qui y sont développés, mais aussi pour son potentiel d'essais en bassins et de nombreux universitaires et industriels viennent solliciter des études en commun.

C'est ainsi que des collaborations ont été développées avec des organismes tel que :

- CEN Cadarache (Thèse C.Locqueteau)
- GERDSM Le Brusc
- DRET Paris (Groupe III et Groupe VI) (Thèse P.Cristini)
- THOMSON SINTRA Arcueil
- LCTAR

Au niveau des relations avec des laboratoires universitaires, une collaboration très étroite avec le Laboratoire d'Océanologie de Marseille vient d'être mise en place. Un étudiant du D.E.A. d'océanologie est encadré en partie par l'équipe, en particulier pour tout ce qui concerne la partie acoustique sous-marine du sujet qui lui a été proposé.

D'autre part toujours avec le Laboratoire d'Océanologie de Marseille, l'équipe assure des cours d'acoustique sous-marine dans une nouvelle option créé dans le D.E.A.

En ce qui concerne l'analyse des échos de cible, des collaborations étroites ont été conduites depuis quelques années avec le LTS de l'I.C.P.I. de Lyon pour les études relatives au temps-fréquence, avec le LCTAR et l'Université Paris 7 (GPS) pour les études de diffusion acoustique proprement dites, et avec l'INSA de Lyon pour les problèmes relatifs à la tomographie acoustique. L'équipe est d'ailleurs souvent sollicitée par ces différents partenaires pour participer à des jury d'examen et pour encadrer certains étudiants (D.E.A., thèses, accueil de stagiaires de diverses grandes écoles (Navale, ESIM ...).

Une collaboration établie depuis plusieurs années avec le Centre de Physique Théorique de Marseille Luminy s'est concrétisée par le développement et l'utilisation de transformées en ondelettes pour analyser certains problèmes de propagation ou de diffraction. Cette collaboration s'est traduite par un grand nombre de publications communes. Mentionnons aussi au niveau national, un début de collaboration avec l'INPP (Institut National de Plongée Professionnelle) et le lancement avec d'autres instituts et d'autres partenaires d'un projet qui devrait permettre à l'équipe et au LMA de se doter d'une base d'expérimentation en bordure de mer à La Ciotat. Ce projet est conduit avec le soutien de la région PACA. Enfin une collaboration étroite existe avec l'Université de Toulon et du Var à propos des recherches sur les milieux stratifiés en vue de la modélisation des fonds marins.

b) Au niveau européen

L'équipe intervient dans un projet européen MAST intitulé A.C.I.D. (Acoustical Imaging Development). Dans ce projet qui groupe 8 partenaires, l'équipe intervient comme leader pour la tâche qui consiste à déterminer la nature du sous-sol marin à partir de mesures en réflexion.

Les divers participants au projet sont :

- IFREMER
- I.C.P.I.
- University of Newcattle
- Technical University of Denmark
- Foundation for research and technology Hellas
- L.M.A./US

Des collaborations hors programmes européens ont été développées avec des partenaires Belges et Suisses. Ceci s'est concrétisé par l'accueil en 1990 de plusieurs stagiaires qui ont effectué des séjours dans l'équipe. Ces collaborations sont en train de se développer davantage, et des échanges de chercheurs pour des durées plus grandes sont prévues.

c) Niveau international

Un accord de coopération franco-algérien est en cours. Il porte sur un programme commun d'études de milieux stratifiés.

Un certain nombre d'échanges d'universitaires algériens a déjà eu lieu. Cette collaboration mise en place en 1989 a débuté effectivement dès le début de l'année 1990 et se poursuit actuellement.

Publications

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

G.SARACCO, C.GAZANHES, J.SAGELOLI, J.P.SESSAREGO

Analyse temps-échelle de la diffusion acoustique par des coques sphériques élastiques en régime impulsif

Journal d'Acoustique, Vol.3, n°4, pp.381-392, 1990

L.M.A. - Equipe U.S.

J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, P.DEGOUL, P.FLANDRIN,
M.ZAKHARIA

Analyse temps-fréquence de signaux en milieux dispersifs Application à l'étude des ondes de Lamb

Journal d'Acoustique, Vol.3, pp.273-286, 1990

J.P.HERAULT, G.RABAU, C.GAZANHES

Propagation dispersive en milieu stratifié Simulation sur modèles réduits

Revue de Physique Appliquée III 1 pp 389-414, 1991

G.SARACCO, G.CORSAIN, J.LEANDRE, C.GAZANHES

Propagation d'ondes sphériques monochromatiques. Applications numériques et expérimentales au dioptré plan air-eau

Acustica Vol.72, n°1, pp.21-32, 1990

Publications de conférences à des colloques avec actes

C.GAZANHES. Caractérisation acoustique du milieu marin sur modèles réduits méthodes et moyens. Sciences et Défense 90 - Le Traitement du signal Dunod Paris, pp.78-87, 1990

P.FLANDRIN, J.P.SESSAREGO, Méthodes temps-fréquence en acoustique. 1er Congrès français d'Acoustique. Vol.II, pp.C2.707/C2.716, Lyon 10-13 avril 1990

P.FILIPPI, J.P.SESSAREGO. Application de la théorie spectrale aux problèmes de diffraction-diffusion et de rayonnement acoustique. Colloque JESPA, pp.C3.63/C3.72, Marseille septembre 1990

G.RABAU, C.GAZANHES. Modèles géoacoustiques. 1er Congrès français d'Acoustique. Vol.I pp.C2-447/C2-450, Lyon 10-13 avril 1990

P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES. Propagation en eau peu profonde Cas d'un modèle géoacoustique. 1er Congrès français d'Acoustique, Vol.II, pp.C2-973/C2-976, Lyon 10-13 avril 1990

G.SARACCO, P.TCHAMITCHIAN, C.GAZANHES, Transmission à travers un dioptré et reconstruction de la source. 1er Congrès français d'Acoustique. Vol.II, pp.C2-1049/C2-1052, Lyon 10-13 avril 1990

O.GERARD, J.LEANDRE, C.GAZANHES, Propagation acoustique à travers un rideau de bulles. 1er Congrès français d'Acoustique.Vol.II, pp.C2-985/C2-988, Lyon 10-13 avril 1990

G.SARACCO, P.TCHAMITCHIAN. Retrieval of time dependent source in an acoustic propagation problem. (Inverse problems in action). Inv.Prob. and Theor. Imag. Springer-Verlag, P. SABATIER Edt, pp. 207-211, 1990

Publications de conférences à des colloques sans "actes" ou avec "actes à diffusion restreinte".

G.RABAU, C.GAZANHES, J.P.HERAULT, Geoacoustic modelling of the sea bed. Colloque de La Spezia-Saclant Edition Kluwer Academic Publishers. 15-19 octobre 1991

P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES, Normal mode identification in shallow water using spectral analysis Theory and experiments, Shear waves in Marine Sediments Conference. Colloque de La Spezia-Saclant. Edition Kluwer Academic Publishers. 15-19 octobre 1990

G.SARACCO, J.P. SESSAREGO, J. SAGELOLI, P. GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET
Extraction of modulation laws of elastic shells by the use of the wavelet transform.
Colloque "Wavelet and applications", Mai 1990, C.I.R.M. Marseille Luminy.

G.SARACCO, P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET,
Characterization of elastic shells by the use of the wavelet transform.
Proceeding 91 IEEE - 90, Hawai, Honolulu, 4 - 7 - dec 1990

Thèses soutenues

G.RABAU, Modèle Géoacoustique. 29 juin 1990. Nouveau doctorat

O.GERARD, Propagation acoustique dans un milieu diphasique eau -bulles d'air. 1er février 1991. Nouveau doctorat

L.M.A. - Equipe U.S.



Rapports de fin de contrats

Responsable C.GAZANHES

Origine DCAN

Objet Simulation de bathycélérimétrie - avril 1990

Responsable C.GAZANHES

Origine DCAN

Objet Simulation de l'environnement en Acoustique Sous-Marine -
décembre 1990

Responsable J.P SESSAREGO

Origine DRET

Objet Etude numérique et expérimentale des résonances d'une coque
sphérique très mince. - mars 1990

***F. PSYCHOACOUSTIQUE & INFORMATIQUE
MUSICALE***

Equipe Informatique Musicale (I.M.)

Responsable : J.C. RISSET

Orientation générale

L'activité de l'Equipe Informatique Musicale est centrée sur l'application aux sons musicaux de la synthèse et du traitement numérique des sons. Cette activité s'oriente suivant deux axes :

- 1 Informatique Musicale.
Recherche de processus de traitement numérique du signal sonore utiles à des applications musicales, et mise en oeuvre soit sur ordinateur, soit sur circuits numériques spécialisés (OR 081, OR exploratoire 082).
- 2 Psychoacoustique Musicale.
Application de l'analyse et de la synthèse des sons par ordinateur à une meilleure connaissance de la perception auditive (OR 17).

Les thèmes 1) et 2) sont inséparables en effet, les traitements du signal sonore doivent prendre en compte les particularités de la perception auditive pour satisfaire aux nécessités musicales et pour permettre des réductions d'information compatibles avec les exigences sensorielles; d'autre part la perception auditive doit être étudiée non sur des signaux simples, mais sur des signaux d'une complexité suffisante pour présenter un intérêt musical, et cependant contrôlés dans tous leurs paramètres physiques, ce qui n'est possible que grâce aux techniques informatiques.

L'Equipe Informatique Musicale a initialement concentré ses activités dans le domaine de la synthèse sonore mise en oeuvre d'une version étendue de MUSICV sur ordinateurs compatibles IBM-PC, interface MIDI-MUSICV, développement d'un savoir-faire de synthèse distorsion non-linéaire, paradoxes de rythme, etc.

Depuis 1986, l'Equipe explore le domaine de la transformation numérique des sons, en se posant le problème de réaliser des "transmutations" sur les

sons, préservant certains caractères du son et en modifiant d'autres, à l'instar des possibilités de la synthèse où l'utilisateur peut spécifier les paramètres indépendamment les uns des autres. La plupart des transformations couramment réalisées sur les sons sont globales et relativement rudimentaires il serait d'un grand intérêt de mettre à la disposition des musiciens des techniques leur permettant d'effectuer de véritables compositions, et pas seulement des montages, à partir de sons quelconques. Nous étudions deux types de solution à ce problème. La première solution consiste à effectuer des analyses-synthèses en transformant les données d'analyse avant la resynthèse, on peut réaliser des transformations intimes telles que le ralentissement sans transposition. La seconde solution consiste à analyser le son de façon à identifier les paramètres d'un modèle de synthèse on peut alors imiter le son de départ en utilisant ce modèle. Le second problème est plus difficile, mais l'enjeu est encore plus intéressant non seulement ce procédé autorise une flexibilité propre à la synthèse, il permet de plus de tirer parti des synthétiseurs commerciaux mettant en oeuvre ce type de modèle, ce qui étendrait grandement les possibilités de ces synthétiseurs.

Ainsi, depuis 1986, l'Equipe s'est beaucoup investie dans l'exploration d'une nouvelle méthode de traitement du signal, la transformée en ondelettes, et aussi de la transformation de Gabor, qui lui est apparentée. L'Equipe est ici en position de pointe elle a pour la première fois appliqué les ondelettes dans le domaine acoustique; et la puissance du processeur audionumérique SYTER et du programme modulaire MUSIC V nous ont permis d'effectuer une vaste exploration de ces méthodes et d'en proposer des développements inattendus (ces recherches ont été menées par Richard Kronland-Martinet, Daniel Arfib et leurs collaborateurs). L'année 1990 a été marquée par des progrès décisifs vers la solution du second problème, avec l'identification par Philippe Guillemain de paramètres pour la resynthèse additive, en faisant appel à la notion de squelette de la transformée en ondelettes.

Depuis 1989, le domaine du traitement musical en temps réel a connu des développements substantiels. Pierre Dutilleux a programmé sur le processeur audionumérique SYTER des transformations sonores dont les paramètres peuvent être modifiés dynamiquement. D'autre part Jean-Claude Risset a effectué au M.I.T. la première mise en oeuvre d'une interaction temps réel piano acoustique/ordinateur sur un piano Yamaha Disklavier. Cette réalisation a décidé la Compagnie Yamaha à mettre gracieusement à la disposition de l'Equipe un Disklavier, afin qu'elle puisse poursuivre des recherches faisant appel à cet instrument.

Enfin les recherches de psychoacoustique musicale se poursuivent, à l'occasion des travaux décrits ci-dessus J.C. Risset travaille à les présenter dans un cadre cohérent. Les spécificités de la perception auditive

peuvent s'interpréter dans le cadre des théories "écologiques" ou "fonctionnalistes" de la perception. Les travaux de l'équipe dans ce domaine se rattachent aux Sciences cognitives.

Activités de recherche

OR 081 Informatique Musicale

D.Arfib, F.Boyer, N.Delprat, P.Dutilleux, J.C.Risset,
P.Sanchez

Outils de synthèse et traitement des sons sur compatibles IBM-PC

D. Arfib a terminé une version augmentée du programme MUSIC V sur ordinateurs compatibles PC. Il s'agit d'un programme général de synthèse, mais aussi de traitement des sons, qui sert aux recherches de l'équipe. Ainsi D. Arfib a étendu les possibilités du programme pour l'habiller à effectuer la synthèse par ondelettes ou par grains de Gabor. La portabilité du programme rend la synthèse logiciel et le traitement numérique des sons disponible pour des utilisateurs aussi bien scientifiques que musicaux le programme est disponible avec un ensemble d'exemples synthétisés, comportant le résultat sonore enregistré aussi bien que tous les détails nécessaires à la reconstitution de ces exemples sonores. Le programme a été diffusé notamment au CCRMA de l'Université Stanford (où J.R. Pierce l'utilise pour ses recherches de psychoacoustique musicale), à l'Université Paris VIII, aux Centres d'Informatique Musicale de Budapest, Madrid et bientôt Cuba. Le projet a bénéficié d'une aide du Conseil de la Recherche du Ministère de la Culture.

En vue d'effectuer une recherche sur l'analyse de sons réels, Patrick Sanchez a écrit toute une panoplie de programmes de traitement sonore pour ordinateurs compatibles IBM-PC. Jointes au programme MUSIC V, ces programmes permettent une véritable microchirurgie numérique des sons visualisation et repérage de l'onde, avec translation et zoom; extraction d'enveloppe; détection de mélodie (pitch); FFT et visualisation spectrale.

Frédéric Boyer a réalisé une interface logiciel MIDI-MUSIC V, qui permet de saisir les données musicales d'une exécution lors d'un jeu instrumental en temps réel sur un instrument MIDI, puis de les convertir en données

d'entrée MUSIC V. On peut donc bénéficier du temps réel pour réaliser les nuances musicales voulues, tout en bénéficiant de la puissance de MUSIC V, hors temps réel, pour la synthèse et le traitement du matériau sonore. Cette passerelle entre temps réel et temps différé est nouvelle et importante; J.C. Risset en a tiré parti dans sa pièce *Voilements* pour saxophone et ordinateur.

Séparation source-résonance et extraction de paramètres en vue d'une resynthèse par distorsion non linéaire

La recherche de P. Sanchez vise à extraire, de l'enregistrement d'une gamme chromatique jouée sur un instrument, des paramètres pour une resynthèse imitative par distorsion non-linéaire. On suppose que l'instrument a une structure formantique (enveloppe spectrale pratiquement invariante), hypothèse qui correspond à un modèle excitation-résonance, et qui est assez bien vérifiée pour des sons comme ceux des cordes frottées ou de la voix chantée sur une voyelle donnée. L'aspect résonance est modélisé par des filtres récursifs dont les coefficients sont identifiés à partir de l'analyse des sons de la gamme chromatique. Un filtrage inverse permet d'obtenir le signal d'excitation en s'affranchissant de la contribution des formants. L'excitation peut ensuite être modélisée par distorsion non-linéaire, déterminée à partir du spectre suivant la méthode mise en oeuvre par Arfib en identifiant la position du barycentre spectral. La méthode marche bien pour des signaux académiques, et elle donne des résultats intéressants pour certains sons instrumentaux. P. Sanchez doit soutenir sa thèse durant l'été 1991; il a été engagé comme ingénieur par la Société Digilog en 1990.

Transformations sonores en temps réel

D. Arfib, P. Dutilleux et Jacques Jelsch ont réalisé un "capteur de gestes" comportant plusieurs potentiomètres et un manche à balai (joystick), une interface MIDI et un microprocesseur. L'information sur les gestes est transcrite en code MIDI, suivant des modalités programmables. Le microprocesseur permet de choisir l'échelle linéaire ou logarithmique des commandes et leur traduction en codes MIDI system exclusive. Ce capteur permet de commander en temps réel des transformations sonores sur SYTER. Le dispositif a été utilisé pour réaliser les spatialisations illusoire des sons dans *Electron-Positron*, une illustration sonore sur bande 8 pistes demandée par le CERN à J.C. Risset pour l'inauguration en 1989 du LEP, le grand collisionneur électron-positon. Le pupitre MIDI a été utilisé pour spécifier en temps réel une spatialisation, donnant l'illusion

que la source sonore décrit un mouvement dans l'espace semblable au mouvement imprimé au manche à balai. L'illusion de mouvement s'inspire des recherches de Chowning à Stanford les données du capteur de gestes sont interprétées de façon à prescrire à chaque instant l'équilibre entre 4 canaux, le rapport son direct-son réverbéré pour la distance, et l'effet Döppler pour la vitesse radiale.

Avec l'aide de Nathalie Delprat, P. Dutilleux a accompli une étude demandée par l'Etablissement Public de La Villette pour une "machine à sculpter le son" en temps réel, qui serait mise à la disposition du public du futur Musée de la Musique. N. Delprat a effectué des simulations logiciel, et P. Dutilleux a mis en oeuvre différents processus en temps réel sur le processeur SYTER "gel" du son, compression-expansion de la dynamique, hachure temporelle, modulation à bande latérale unique, modulation par une bande de bruit, action sur l'enveloppe spectrale. L'étude a montré la faisabilité d'une telle machine et a précisé quels processus seraient les plus faciles à mettre en oeuvre.

Pour ce dernier cas, P. Dutilleux a rendu très performants des filtres numériques résonants du type "à variables d'état", qui peuvent donner lieu à des facteurs de surtension très élevés, et qu'on peut contrôler dynamiquement. On peut ainsi interpoler entre plusieurs gabarits de filtres en préservant la stabilité dans les parcours intermédiaires. On peut aussi contrôler les filtres de façon très précise, de façon à obtenir des accords. P. Dutilleux a présenté à l'Audio Engineering Society des filtres dont les fréquences centrales glissent en fréquence en restant à intervalle d'octave, ce qui permet en particulier de réaliser des descentes sans fin par filtrage.

Ces mises en oeuvres augmentent les possibilités musicales de SYTER; on peut commander divers paramètres - notamment, pour la première fois, les paramètres des filtres - en temps réel à partir d'un clavier MIDI ou du périphérique construit au Laboratoire. Ces possibilités ont été appliquées à des simulations de sons sous-marins (en collaboration avec la Société Digilog) et à des réalisations musicales, notamment une pièce réalisée par J.C. Risset pour le clarinettiste Michel Portal et à un opéra de Sciarrino réalisé au Centro di Sonologia Computazionale de Padoue avec la collaboration de Alvise Vidolin et Giovanni de Poli.

Interaction piano-ordinateur en temps réel

Invité trois mois au Groupe Music and Cognition (Prs Vercoe, Minsky & Machover) au Media Laboratory du M.I.T., Jean-Claude Risset a pu réaliser en 1989 la première interaction temps réel entre un piano acoustique et un ordinateur. Cette réalisation a été faite en collaboration avec Scott Van Duyne. J.C. Risset a composé huit volets formant un "Duo pour un pianiste" la seconde partie de ce "Duo" est jouée, sur le même

piano - un piano acoustique avec feutres et marteaux - par un ordinateur qui suit le jeu du pianiste.

Il faut bien sûr pour cela un piano spécial le Disklavier Yamaha, qui est un piano "acoustique", mais équipé d'entrée et de sortie MIDI. La sortie indique dans le format MIDI les caractéristiques des notes jouées instants d'enfoncement et de relâchement des touches, vitesse, enfoncement ou relâchement des pédales. L'entrée commande le jeu automatique à partir des codes MIDI chaque touche comporte un moteur électromagnétique (solénoïde) qui la lance au moment prescrit et avec la vitesse prescrite par le code. Les codes MIDI de sortie peuvent être transmis à un séquenceur ou un synthétiseur MIDI ou à un ordinateur muni d'une interface MIDI. Les codes MIDI d'entrée peuvent provenir d'un accès gestuel MIDI (clavier, guitare ou saxophone MIDI) ou d'un ordinateur muni d'une interface MIDI. Le piano peut ainsi servir de clavier MIDI, ou de piano mécanique - dans ce dernier cas, il joue des séquences préenregistrées sous forme MIDI. Ces possibilités sont disponibles directement avec le piano tel qu'il est commercialisé.

L'interaction mise en oeuvre pour la première fois fait appel à un programme d'ordinateur, qui transforme les codes MIDI issus du jeu du pianiste et les renvoie vers le piano. Nous avons pu utiliser le remarquable programme MAX de Miller Puckette, programme modulaire orienté objet et optimisé pour le temps réel et les horloges simultanées non synchrones. Ce programme fonctionne sur Macintosh II. Ainsi le pianiste peut-il être "accompagné" par l'ordinateur, et cet accompagnement - plus généralement cette interaction piano-ordinateur - doit être préprogrammé mais il peut l'être de façon que l'accompagnement soit "sensible" et non mécanique, qu'il dépende de ce que joue le pianiste et de la façon dont il le joue.

Pour mettre en oeuvre cette interaction, il a fallu résoudre deux problèmes délicats. D'abord le "feedback" ou "effet Larsen". L'ordinateur doit être habilité à distinguer dans les commandes MIDI qui lui parviennent celles qui proviennent du jeu du pianiste de celles qui parviennent de son propre jeu. Or l'intensité du jeu dépend de la vitesse des marteaux le retard mécanique dû au temps de transit du marteau varie suivant l'intensité de 20 millisecondes à plus de 200 millisecondes. Il faut procéder à une compensation, effectuée à l'aide de tables du temps de transit en fonction de la vitesse, établies expérimentalement sur chaque piano.

Une fois ces problèmes résolus, J.C. Risset a exploré différents types de relation entre ce que joue le pianiste et l'accompagnement informatique. Parmi les interactions explorées déclenchement par certaines touches de séquences de notes prédéfinies, leur tempo pouvant dépendre du tempo du jeu du pianiste; additions aux notes jouées par le pianiste de notes transposées, ou symétriques par rapport à une note donnée, avec des

retards prescrits; excitation de résonances; complétion d'arpèges dont le tempo est déterminé soit par le tempo du pianiste, soit par la note qu'il joue, soit encore par l'intensité avec laquelle il joue.

J.C. Risset a été invité à présenter cette réalisation dans divers pays - en particulier comme "keynote speech" de l'I.C.M.C. 1990 (International Computer Music Conference).

OR 082 Ondelettes

R.Kronland, D.Arfib, F.Boyer, N.Delprat, P.Dutilleux,
P.Guillemain

Exploration de la transformée en ondelettes

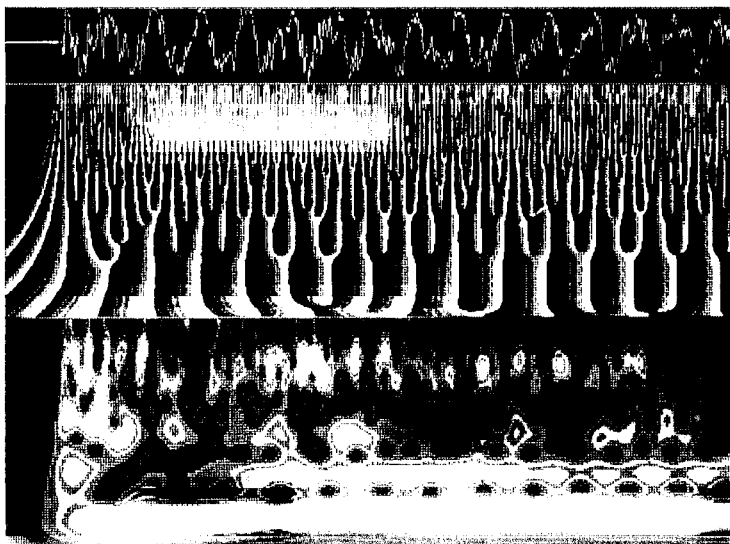
Grâce à un contrat D.C.A.N., l'équipe a pu acquérir le processeur audionumérique SYTER. Ce processeur performant a permis une vaste exploration des possibilités de la transformée en ondelettes; cette exploration a fait l'objet de la thèse de R. Kronland-Martinet, soutenue en juin 1989. Les premières analyses, les premières reconstitutions sonores et les premières modifications avant resynthèse ont été effectuées par R. Kronland en collaboration avec Alex Grossman. L'ondelette la plus utilisée a été l'ondelette de Morlet. Parmi les conclusions importantes, le fait que les discontinuités apparaissent aux points de convergence des lignes de phase de la transformée. Ces travaux ont suscité un très grand intérêt, comme en témoignent plusieurs ouvrages et de nombreuses publications. R. Kronland a initié un grand nombre de chercheurs, voire d'industriels, à cette nouvelle méthode d'analyse temps-fréquence, et il anime diverses recherches et collaborations (Cf. infra, section "Situation").

R.Kronland a réalisé un exemple frappant d'usage d'ondelette "non classique", décomposant le signal en contributions qui privilégient certaines caractéristiques en choisissant une ondelette analysante comportant deux composantes sinusoïdales dans un certain rapport de fréquence, il fait apparaître dans le module de la transformée des maxima lorsque le signal comprend des fréquences dans le même rapport (c'est-à-dire formant le même intervalle musical). Une telle démarche peut aider à isoler des accords dans un enregistrement musical, ou des voyelles dans un texte parlé.

F.Boyer a réalisé la première resynthèse sonore "granulaire", utilisant effectivement la grille dyadique à laquelle on peut réduire la localisation des ondelettes composantes.

L.M.A. - Equipe I.M.

Un "algorithme à trous" a été mis au point pour augmenter l'efficacité des calculs pour la transformée en ondelettes (un peu comme la F.F.T. pour la transformée de Fourier). P. Dutilleux a implanté cet algorithme sur SYTER.



Transformée en ondelettes d'un son de cloche. De haut en bas forme d'onde, phase et module de la transformée.

Modifications intimes des sons

L'étude des modifications intimes du son - par exemple le ralentissement du son sans transposition de fréquence - a été poursuivie par R. Kronland-Martinet, par F. Boyer, utilisant des transformées en ondelettes sur beaucoup de canaux, et en parallèle par D. Arfib, ce dernier utilisant non pas la transformée en ondelettes (à δf constant) mais la transformée de Gabor (décomposant l'onde en grains de Gabor, semblables à des ondelettes, mais espacés à δf constant). Il faut noter que ces deux transformées ont bien des points communs fonctions élémentaires bornées en temps et fréquence, possibilité de reconstruction en se limitant à une grille discrète - dyadique pour les ondelettes, rectangulaire pour les grains de Gabor, obtention d'une transformée légitime à partir d'une fonction arbitraire par convolution avec un noyau reproduisant. Aussi l'exploration de la transformée de Gabor, qui a préfiguré la transformation en ondelettes, s'inscrit-elle naturellement dans l'OR Ondelettes.

Ces travaux ont été effectués non sur SYTER, mais sur des ordinateurs compatibles PC.

D.Arrib a ainsi réalisé les premières reconstructions après analyses en grains de Gabor - les seuls précédents étaient les exemples de synthèse "granulaire", obtenus par somme de grains de Gabor, mais aucune reconstitution fidèle après analyse d'un son n'avait été faite depuis que Gabor avait proposé l'idée en 1946. D. Arrib a réussi des ralentissements de voix parlée ou de sons d'instruments très convaincants, dépassant un rapport de ralentissement de 100. La transformée en ondelettes offre ici plus de problèmes que le procédé de Gabor (par ailleurs généralement plus coûteux) même si l'on utilise de nombreux canaux d'analyse. L'étude de cette question met en lumière divers points. Dans la transformée en ondelettes, plusieurs harmoniques d'ordre élevé sont situés dans un même canal, à moins d'utiliser un très grand nombre de canaux d'analyse cela donne lieu à une périodicité synchrone au pitch dès lors que sont effectuées des opérations non linéaires, et l'étirement dans le temps du module de la transformée en ondelettes introduira une composante très grave. Le problème est lié à la notion de "noyau reproduisant" si on modifie une transformée en ondelettes, elle peut ne plus être une transformée en ondelettes, d'où l'apparition d'artefacts contre lesquels il est possible de se prémunir. En particulier, il est nécessaire de dérouler et d'ajuster les phases en tout point d'analyse afin de permettre à la fonction complexe du plan temps-fréquence d'être quasi-invariante par la convolution avec le noyau reproduisant de la transformée. D'autre part, lorsqu'on ralentit un exemple sonore, on veut préserver la distinction entre perception d'enveloppe temporelle - à des fréquences inférieures à 20 Hz - et perception proprement fréquentielle - au dessus de 20 Hz. On voit que les considérations psychoacoustiques entrent forcément en ligne de compte. D.Arrib a également utilisé une technique dérivée de la méthode de Gabor pour rendre plus intelligible la voix émise dans l'hélium il faut alors déplacer le spectre sans modifier la fréquence fondamentale. Cette technique paraît donner d'excellents résultats, qui ont été soumis à un Comité national d'évaluation.

F.Boyer a tiré parti de ses analyses en ondelettes avec un grand nombre de canaux pour réaliser d'autres transformations intimes sur les sons pouvant présenter un intérêt musical en particulier il peut "harmoniser" à volonté un signal vocal, en ne conservant à la reconstruction que les canaux qui sont dans des intervalles correspondant à un accord de septième diminuée (par exemple). Il peut également transposer une voix sur deux octaves ou plus sans effet "Donald Duck".

Sur une suggestion de B. Escudié, R. Kronland et ses collaborateurs ont mis en oeuvre une méthode d'extraction de "squelette" à partir de la transformée en ondelettes. L'idée est de réduire l'intégrale d'une fonction oscillante à la contribution des portions à phase stationnaire, et partant de concentrer l'information pertinente, présente de façon redondante dans la transformée. Moyennant des hypothèses dites d'asymptotisme, il est utile de définir "l'arête" associée à la transformée comme la trajectoire définie par les points du demi-plan temps/échelle où il y a cohérence de phase entre la transformée et la fonction analysante (conséquence de la cohérence de phase entre signal et fonction analysante). On montre qu'alors la restriction de la transformée le long de l'arête, appelée "squelette", est le signal à un déphasage près et à un terme correctif près pour le module.

Cette méthode aide à retrouver les lois de modulation d'amplitude et de fréquence du signal N . Delprat a pu le démontrer sur des signaux académiques (avec la collaboration de P. Tchamitchian); toutefois des difficultés apparaissent pour des sons musicaux complexes. N . Delprat a pu montrer que l'extraction de la loi de modulation à partir de la phase du signal analytique, proposée par J. Justice, ne permettait pas de détecter la phase de façon appropriée, et qu'il était nécessaire de recourir à une analyse temps/fréquence pour s'assurer que le module est limité en bande de fréquence (variant lentement par rapport à la phase) et qu'il n'interfère pas avec la phase. Elle étudie les conditions dans lesquelles des modifications des algorithmes pourraient donner des résultats utiles, en évitant la formation de "bulles" liées à l'intermodulation de plusieurs trajectoires. Le problème apparaît quand l'indice de modulation augmente et que la bande passante de modulation dépasse la largeur de bande de l'ondelette il ne suffit alors plus d'une ondelette pour "voir" l'ensemble de l'oscillations, ce qui donne lieu à des artefacts. Il faudra sans doute envisager un algorithme adaptatif. N . Delprat a aussi éclairé le rapport entre taille de la fenêtre d'analyse et forme de la loi de modulation. Elle envisage aussi une analyse hybride entre Gabor et ondelettes qui permettrait de suivre l'évolution de la loi de modulation du signal sans problème de taille de fenêtre - une possibilité envisagée aussi par B. Torrèsani, du Centre de Physique Théorique de Luminy. L'enjeu est important pour l'informatique musicale, puisqu'on peut espérer arriver, à partir d'un son, aux paramètres permettant de simuler ce son à l'aide de la méthode de modulation de fréquence de Chowning.

Si la détection des paramètres de modulation de fréquence pose des problèmes non résolus dans le cas de signaux peu asymptotiques ou d'une somme de signaux, en revanche, dans le cas particulier des lignes spectrales - modulées en amplitude mais non en fréquence - cette méthode a donné lieu récemment à des résultats remarquables pour l'analyse-synthèse

des sons instrumentaux et vocaux, fournissant les paramètres pour une synthèse additive de grande qualité. Richard Kronland et Philippe Guillemain (stagiaire en 1988, puis stagiaire DEA en 1990) ont développé des algorithmes automatiques d'extraction de lignes spectrales (composantes à fréquence fixe, modulées en amplitude), qui travaillent sur la phase de la transformée en ondelettes ils en extraient l'information sur une ligne spectrale, puis ils soustraient sa contribution. P. Guillemain a appliqué ces algorithmes à une analyse qui fournit automatiquement les données (enveloppes d'amplitude et fréquence) pour une resynthèse additive. Cette réalisation, décrite dans son rapport de stage D.E.A., est nouvelle et très significative elle augmente les ressources des synthétiseurs faisant appel à la synthèse additive. Philippe Guillemain et Richard Kronland ont également généralisé ces algorithmes itératifs au cas des signaux modulés en fréquence, ce qui permet une estimation des lois de modulations en restreignant de façon automatique le calcul de la transformée en ondelettes le long de l'arête définie précédemment. Ces algorithmes ne nécessitent pas le calcul entier de la transformée en ondelettes et fonctionnent sans aucune discrétisation du paramètre d'échelle, ce qui permet une estimation rapide et précise des lois de modulations.

OR 17 Psychoacoustique musicale

J.C. Risset

Un ouvrage est en préparation pour présenter en détail les problèmes de la perception des sons musicaux et la perspective "écologique" ou "fonctionnaliste" de la perception proposée initialement par Gibson. Rappelons que suivant ce point de vue, l'audition n'est pas un dispositif de mesure de paramètres physiques, comme le laisse à penser la démarche de la psychoacoustique classique la fonction auditive traite les signaux sonores de façon très spécifique pour en extraire au mieux -compte tenu des particularités des vibrations sonores- des informations sur l'environnement pouvant être utiles à la survie. L'oreille est ainsi particulièrement sensible à certains aspects du son. Par exemple, les essais de synthèse ont démontré que l'oreille exploitait l'incohérence vibratoire et en particulier les micromodulations pour distinguer des sons dont les harmoniques paraissent coïncider (sons à l'unisson, couples de sons tels que la fondamentale du premier coïncide avec un harmonique du second) aussi l'oreille est-elle spécialement sensible au pleurage et au scintillement, défauts très gênants dans la mesure justement où ils interfèrent avec la capacité d'analyse auditive. De nombreuses particularités perceptives, dont certaines donnent lieu à des illusions auditives frappantes, vont à l'appui de ce point de vue

J.C. Risset en a démontré la pertinence en plusieurs occasions, notamment lors du Congrès Fechner de 1990; il a donné le premier des séminaires de Psychologie écologique organisés par le Laboratoire de Neurosciences Fonctionnelles.

D'autre part, différents aspects du travail classé dans les autres OR apportent des données sur la perception musicale - et réciproquement. Ainsi a-t-il été proposé dans l'Equipe d'essayer une analyse-synthèse de type Gabor (Δf constant) jusqu'à 800 Hz et de type ondelette ($\Delta f/f$ constant) au dessus, pour mieux se rapprocher de la résolution spectrale de l'oreille, repérée par la valeur de la bande critique. Un processus de ce type a été mis en oeuvre au LIMSI par C. d'Alessandro.

Deux chercheurs soviétiques ont obtenu des crédits de la Maison des Sciences de l'Homme, dans le cadre d'une convention d'échange avec des laboratoires d'U.R.S.S., pour séjourner un mois dans notre équipe en 1989. Il s'agit de Valery Nosulenko, secrétaire de l'Institut de Psychologie de l'Académie des Sciences d'U.R.S.S. et Président du Consortium "Homme - Technologie -Environnement Acoustique", qui coordonne plusieurs institutions soviétiques, et de son collègue Evgeni Epifanov.

Situation et perspectives de la recherche dans les domaines national, européen, international.

Les spécificités de l'Equipe Informatique Musicale paraissent les suivantes :

- expérience accumulée et transmissible (grâce à la synthèse directe logiciel) en synthèse des sons musicaux, en relation étroite avec une pratique musicale mais aussi avec le secteur scientifique (ce qui n'est pas le cas à ce degré de la plupart des institutions proprement musicales comme l'IRCAM ou le GRM de l'INA);
- notamment, prise en compte détaillée des phénomènes perceptifs pour les sons complexes et en contexte. J.C. Risset est membre du Conseil scientifique du Comité "Cognisud", qui met en place sur la région l'action C.N.R.S. pour le développement des Sciences cognitives.. L'équipe a collaboré sur ce thème avec l'Institut de Psychologie de Moscou, et le Royal Institute of Technology de Stockholm (plutôt qu'avec des institutions de l'Europe des douze, peu actives en

psychoacoustique musicale). La collaboration dans ce domaine se poursuit activement avec le CNMAT de l'Université de Californie à Berkeley et le CCRMA de l'Université Stanford (rédaction d'un ouvrage).

- savoir-faire concernant le traitement temps réel et la modification intime des sons musicaux, notamment dans le domaine de la transformation continue en ondelettes. Ce savoir-faire est déjà valorisé dans l'industrie et utilisé dans divers centres musicaux en France et à l'étranger.

L'exploration de la transformée en ondelettes a impliqué maintes collaborations elle se fait dans le cadre du Groupement de Recherches Ondelettes, qui recouvre les sections 3, 4 et 10 du C.N.R.S. Notre recherche sur les ondelettes, animée par Richard Kronland, est stimulée par les travaux de Daniel Arfib sur l'analyse-synthèse granulaire de Gabor. Elle s'effectue en collaboration notamment avec Alex Grossman, Philippe Tchamitchian et Bruno Torresani du Centre de Physique Théorique de Luminy (C.P.T.), et Bernard Escudé de l'I.C.P.I. de Lyon. Un dossier de jumelage de centres de recherche sur le thème "Ondelettes" réunit différents laboratoires européens, dont le LMA, le CPT, le Centre de recherches Pascal de Talence; le CEREMADE de l'Université Paris-Dauphine et l'Université Louvain-la-Neuve en Belgique. Un dossier de jumelage de centres de recherche sur le thème "Ondelettes" réunit différents laboratoires européens, dont le LMA, le CPT, le Centre de recherches Pascal de Talence; le CEREMADE de l'Université Paris-Dauphine, l'Université Louvain-la-Neuve en Belgique, l'Université de Bilbao en Espagne. Il faut noter la continuation de la collaboration avec la Société Digilog, qui a industrialisé le processeur SYTER et créé un Centre d'expertise Ondelettes.

Sur le thème Informatique Musicale, il y a des relations ponctuelles avec diverses équipes françaises - dont le Groupe de Musique Expérimentale de Marseille - et avec l'Equipe Music and Cognition du Media Lab au M.I.T. En 1990-1991, Richard Kronland-Martinet séjourne au CCRMA de l'Université Stanford, et Daniel Arfib au C.N.M.A.T. de l'Université de Californie à Berkeley. Dès l'achèvement de sa thèse (soutenue le 27 mai 1991), P. Dutilleul a été engagé par ZKM, le grand Centre audiovisuel d'Exposition et de Création récemment créé à Karlsruhe. Le domaine temps réel va sans doute connaître de nouveaux développements sur le piano Disklavier mis à la disposition de l'équipe par la Compagnie Yamaha.

Sur le thème Psychacoustique musicale, l'équipe collabore avec le C.C.R.M.A. de l'Université Stanford et le C.N.M.A.T. de l'Université de Californie à Berkeley.

J.C.Risset, responsable de l'Equipe Informatique Musicale, a été l'un des quatre chercheurs français choisis pour présenter leur travail lors de la cérémonie du Cinquantenaire du C.N.R.S. en octobre 1989, en présence du Président de la République, du Ministre de la Recherche et de la Technologie et du Directeur Général du C.N.R.S. il a évoqué à cette occasion les recherches récentes de l'Equipe, en les illustrant d'exemples sonores.

Perspectives sur quatre ans

Les recherches de l'équipe seront poursuivies, et les connaissances acquises seront intégrées de façon à être rendues disponibles en tenant compte de l'état de l'art technologique.

Les recherches sur la psychoacoustique du son musical seront diffusées sous forme d'un traité rédigé en collaboration avec le CCRMA de Stanford et le CNMAT de Berkeley. Ce traité comprendra de nombreux exemples sonores accessibles dans un ordre arbitraire sur disque compact, et il permettra aussi de réaliser des démonstrations auditives à partir d'ordinateurs personnels ou de synthétiseurs commerciaux relativement économiques.

Les travaux sur analyse, synthèse, et transformations du son à partir de représentations temps-fréquence ouvrent la voie de l'extraction automatique et quantitative de paramètres en vue de la resynthèse par un modèle commode. Les résultats obtenus seront étendus, notamment à des situations transitoires à évolution rapide, et ils seront mis en oeuvre dans des environnements conviviaux, réunissant des outils graphiques et des modules fonctionnant en temps réel sur des cartes de traitement du signal. Ils feront l'objet d'une collaboration suivie avec la Société Digilog, et peut-être avec d'autres compagnies, notamment pour des applications plus spécifiquement musicales.

Les travaux sur l'interaction homme-machine en temps réel dans le domaine musical pourront tirer parti à partir de l'été 91 du "radio-drum" mis à la disposition de l'équipe par Max Mathews (CCRMA, Stanford University). On étudiera la commande temps réel des techniques nouvelles de traitement du son évoquées dans le paragraphe précédent.

L'interaction piano-ordinateur mise en oeuvre sur le Disklavier sera appliquée à "l'amplification" des possibilités de jeu du pianiste, mais aussi à l'étude du jeu du pianiste, notamment en fonction des caractéristiques acoustiques de l'environnement. Il s'agit là d'un domaine où l'on ne dispose pratiquement encore d'aucune donnée scientifique.

Dans les quatre années qui viennent, il faudrait envisager pour l'équipe l'acquisition d'une station de travail en musique informatique, ce qui permettrait à la fois de tirer parti du travail fait pour la mise au point de cette station et d'y implanter les réalisations de l'équipe. Une station comme celle en cours d'achèvement à l'IRCAM (d'un coût de l'ordre de 250.000 F) répondrait probablement aux besoins de l'équipe en ce qui concerne la synthèse logiciel, le traitement de signal, avec les possibilités du temps réel et du logiciel MAX. L'Equipe suit aussi les développements au CNMAT de Berkeley, au CCRMA de Stanford et à la Société Digilog.

Si les projets concernant l'interaction piano-ordinateur se développent favorablement, il faudra envisager l'acquisition d'un Disklavier Yamaha à queue, bien meilleur du point de vue de l'instrument mais aussi des mécanismes moteurs. (Le modèle C7 coûte actuellement environ 200.000 francs).

Pour l'étude sur l'influence de l'environnement acoustique sur le jeu du pianiste, et aussi pour disposer d'échantillons sonores et musicaux enregistrés dans de bonnes conditions pour les autres domaines d'activité de l'équipe, il serait très souhaitable de disposer d'un studio spécialement construit de façon à présenter des caractéristiques acoustiques satisfaisantes et contrôlables dans une certaine gamme. Cet équipement pourrait être utilisé pour d'autres projets de recherche, notamment en acoustique architecturale, et on pourrait aussi envisager sa mise à la disposition d'utilisateurs extérieurs. Toutefois il faudrait de gros moyens de matériel et de personnel pour en tirer le meilleur parti.

Publications récentes

R.Kronland-Martinet (1989). Analyse, synthèse et modification des signaux sonores application de la transformée en ondelettes. Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille II (21 juin 1989).

N.Delprat (1989). Extraction of frequency modulation laws in sound synthesis. Note interne L.M.A.

P.Dutilleul (1989). An implementation of the "algorithme à trous" to compute the wavelet transform. "Wavelets Time Frequency Methodes and Phase Space" (Springer-Verlag), 298-304.

A.Grossman, R.Kronland-Martinet, J.Morlet (1989), Reading and understanding continuous wavelet transforms. "Wavelets Time Frequency Methodes and Phase Space" (Springer-Verlag), 286-297.

P.Guillemain, R.Kronland-Martinet, B.Martens (1989). Application de la transformée en ondelettes en spectroscopie R.M.N. Note interne L.M.A. n° 112.

J.C.Risset (1989) . The Computer, Music, and Sound Models. "Wavelets Time Frequency Methodes and Phase Space" (Springer-Verlag), 102-125.

J.C.Risset (1989). Symétrie et arts sonores . In "La symétrie aujourd'hui" (Editions du Seuil, Collection Point-Sciences, 189-203.

J.C.Risset (1989). Paradoxical sounds/ Additive synthesis of instrument tones (avec exemples sonores sur disque compact). In M.V. Mathews & J.R. Pierce, ed., Current Directions in Computer Music Research, M.I.T. Press 1989, 149-163.

F.Boyer, R.Kronland-Martinet (1989). Granular Resynthesis and Transformation of Sounds through Wavelet Transform Analysis. Proc. Intern. Computer Music Conference, Columbus, Ohio, 51-54.

P.Dutilleux (1989). Spinning the sounds in real time. Proc. Intern. Computer Music Conference, Columbus, Ohio, 94-97.

J.C.Risset (1990). Composer le son expériences avec l'ordinateur. In "Musiques électroniques", numéro spécial de la revue Contrechamps XI, Editions l'Age d'homme, Genève, 107-126.

J.C.Risset (1990). Disques compacts comprenant des oeuvres pour ordinateur et instruments INA C2000, WERGO 2027/2, NEUMA 450-73.

D.Arrib (1990). Transformations exotiques de sons par ordinateur. 1er Congrès Français d'Acoustique, Lyon, C2, 853-856.

J.C.Risset (1990). Computer synthesis of sound forces us to consider Gibson's view of ecological acoustics. Session "Ecological Acoustics" (organisée par J.C. Risset), European Workshop on Ecological Psychology, Marseille, 7-8 juin, 48-49.

J.C.Risset (1990). From piano to computer to piano (invited keynote paper). International Computer Music Conference Proceedings, Glasgow, September 10-15, 15-19.

D.Arfib (1990). In the intimacy of a sound. International Computer Music Conference Proceedings, Glasgow, September 10-15, 43-45.

R.Kronland-Martinet, P.Guillemain, N.Delprat (1990). Parameters estimation for non-linear synthesis methods with the help of a time-frequency analysis of real sounds. International Computer Music Conference Proceedings, Glasgow, September 10-15, 88-90.

R.Kronland-Martinet, P.Guillemain & A.Grossman (1990). Wavelet methods for estimation of acoustically relevant parameters of musical signals. 120th Meeting of the Acoustical Society of America, San Diego, 26-30 novembre. (Abstract only).

D.Arfib (1990). Rapport de fin de contrat sur le projet "Music V sur compatibles IBM-PC". (Service de la recherche du Ministère de la Culture).

Equipe Environnement Acoustique et Perception (E.A.P.)

Responsable : G.CANEVET

Orientation générale

Pour connaître l'impact de l'environnement acoustique il est nécessaire d'en connaître le récepteur privilégié le système auditif. Le principal objectif de l'équipe EAP est la modélisation du système auditif, en vue d'aboutir à une meilleure compréhension de son fonctionnement, et éventuellement d'en simuler certains aspects. Les recherches sur la perception auditive et sa modélisation sont réparties sur deux opérations "analyse des fonctions auditives" et "coloration en acoustique des salles".

Pour ce qui est des fonctions auditives, nous avons surtout concentré nos premières recherches sur les thèmes de la perception de l'espace (localisation, latéralisation) et de l'intensité (sonie). Plus récemment, nous avons élargi ce cadre à l'ensemble des fonctions auditives de base, de façon à représenter un système donné (individu) comme un vecteur ayant une série particulière de composantes, que nous considérons comme un "profil psychoacoustique".

La coloration est un des aspects de ce que l'on pourrait appeler la psychoacoustique des salles. La conception de salles assistée par ordinateur se développant de plus en plus, ce type d'information sur les seuils de détection de la coloration permet de mieux définir les contraintes de géométrie et d'absorption des futures salles.

L'équipe EAP contribue aussi à l'enseignement de l'acoustique (publication récente d'un livre de psychoacoustique, DEA). Elle a de plus organisé les Journées d'étude du groupe Audition de la SFA en octobre 1988 à Saint-Louis, et le cinquième congrès de la Société Internationale de Psychophysique en octobre 1989 à Cassis.

OR 32**Analyse des fonctions auditives**

G.Canévet, B.Scharf, F.Santon, Th.Angélini, Th.Voinier,
J.P.Col

Comme nous l'avons mentionné plus haut, cette opération traite des questions de localisation auditive, d'attention sélective, de sonie et de profils auditifs individuels.

*Recherches sur la localisation auditive**a) localisation dans le bruit*

Le problème de la localisation auditive dans le bruit a été examiné dans le contexte d'études sur la détection sous-marine. On connaissait les effets du bruit sur la discrimination spatiale, et les conséquences directes que cela avait sur la perception de la parole. Mais le bruit affecte aussi la position apparente d'une source. L'identification d'azimut de la source s'en trouve donc parfois complètement faussée. Nous avons alors tenté de répondre à la question suivante étant donné une source de bruit et une source de signal utile, quelle est la provenance apparente de ce signal suivant les caractéristiques spectrales, temporelles et spatiales des deux sources? Le travail correspondant a fait, en partie, l'objet d'une thèse soutenue en septembre 1989.

b) localisation monaurale

Bien que la localisation auditive soit basée sur des mécanismes binauraux, il arrive que la perception d'espace ne puisse s'appuyer que sur des indices monauraux. C'est ce qui se produit par exemple dans certains cas de localisation en présence de bruit, où le masquage est très important sur une oreille. On en est alors réduit à une localisation simplement monaurale, qui distord considérablement l'espace auditif. La localisation monaurale est également importante dans les problèmes de restitution de l'espace sonore subjectif sous écouteurs. Nous avons donc entrepris d'établir les fonctions de transfert psychoacoustiques reliant les positions réelles de sources acoustiques et leurs positions perçues. On en a déduit la cartographie des transformations de l'espace auditif par écoute monaurale. Les résultats ont

fait l'objet de plusieurs publications, dont un article paru en 1989 dans la revue *Acustica*.

c) latéralisation auditive

Le développement des techniques électroacoustiques, et notamment des écouteurs, a ravivé l'intérêt pour une forme particulière de localisation auditive intracrânienne, appelée latéralisation. Un problème concret était posé si les signaux électriques alimentant les écouteurs provenaient d'enregistrements par tête artificielle, le déplacement (par réglage de "balance") des images auditives produites devenait très difficile, ou même impossible. Il s'agissait donc de comprendre les raisons de cet effet d'ancrage; certains avaient même émis l'hypothèse que le système auditif traitait de manière différente les signaux naturels et les signaux synthétiques qui n'ont pas été reçus par les oreilles externes en champ libre. Les recherches correspondantes ont été menées en coopération avec un laboratoire allemand (J. Blauert) et subventionnées par le programme PROCOPE de 1986 à 1988. La diffusion des résultats a été importante, à l'occasion de conférences ou de congrès, et leur synthèse a été présentée dans *Acustica* en 1988.

d) aspects temporels de la perception spatiale

La perception auditive spatiale ne se produit pas instantanément dès l'arrivée des signaux acoustiques l'inertie du système auditif impose une certaine durée d'établissement. Inversement, les images auditives persistent un certain temps après l'arrêt des signaux qui les ont créées. L'examen des caractéristiques d'établissement et d'extinction de la perception auditive peut donc fournir des indications sur le rôle des diverses structures du système auditif, de la périphérie au cortex. Nous avons examiné cette question, en prenant pour base un phénomène particulier, l'effet d'antériorité, dont on connaît l'importance en acoustique des salles. L'étude a porté sur la mesure des durées d'établissement et de persistance de l'effet d'antériorité pour diverses conditions expérimentales. On a observé entre autres que l'effet d'antériorité pouvait être anihilé par des réflexions instables (de directions variables ou de retards aléatoires). De plus les résultats montrent clairement que la perception spatiale ne résulte pas seulement de l'activité du système périphérique, mais qu'elle implique l'intervention de structures plus élevées du système nerveux central.

Recherches sur l'attention sélective

Afin de mieux comprendre comment un auditeur capte des sons choisis d'après leur position spectrale et spatiale, nous avons entrepris une série d'expériences sur l'attention auditive. Les premières portaient sur les aspects spectraux. Nous avons montré qu'un sujet détecte mieux un son pur dont la fréquence est proche de celle d'un son attendu que ceux dont les fréquences sont plus éloignées. C'est comme si l'on écoutait à travers une bande étroite de fréquences, de même largeur et de même forme que la bande critique qui joue un rôle prépondérant dans l'audition en général. Nous avons ensuite cherché à mesurer les effets de l'attention dans l'espace. Tout d'abord nous avons constaté que la détection d'un son dans le bruit est aussi bonne dans une direction attendue que dans une direction non attendue. Par contre, le délai de réaction est nettement raccourci dans la direction attendue lorsqu'il s'agit de répondre à un son et non pas à tel autre son.

Recherches sur la sonie et l'adaptation

Les travaux menés depuis trois ou quatre ans ont permis d'aboutir à la découverte d'un phénomène nouveau, semblable dans ses effets à une sorte de "recrutement" à rebours la sonie d'un signal dont le niveau décroît continûment varie beaucoup plus rapidement que ne le prévoit la fonction de sonie normale. Les preuves sont maintenant suffisantes, qui montrent que cet effet résulte de plusieurs causes :

- 1 le comportement au voisinage du seuil de détection de la fonction de sonie normale,
- 2 l'adaptation de sonie induite, assez proche des mécanismes de fatigue,
- 3 l'adaptation simple. Une série d'expériences spécifiques a permis d'évaluer le rôle de chacun de ces trois paramètres. Ce phénomène, que pour l'instant nous avons introduit sous le nom de "decrutment" dans nos articles en langue anglaise, est valable aussi bien pour les bruits à spectre étendu que pour les sons purs.

Les profils psychoacoustiques

La recherche de normes en psychoacoustique n'a pour l'instant été développée que pour les seuils absolus d'audition et la sonie. Dans le premier cas il s'agissait de déterminer la limite entre seuils normaux et seuils pathologiques, dans le second le but était plutôt de connaître les

limites acceptables des expositions au bruit. Nous voulons élargir le champ de l'étude des différences individuelles à un plus grand nombre de caractéristiques auditives, de façon à connaître les valeurs normales des seuils, absolus ou différentiels, ainsi que leur dispersion. Dans l'immédiat l'application prévue est la détection audiophonique sous-marine. Mais on peut aisément concevoir d'autres applications, notamment médicales. Dans un premier temps nous avons procédé à la mise au point d'un système de tests, et de l'équipement nécessaire pour les faire fonctionner. Puis nous avons tenté de définir une série de tests optimale, en nombre et en qualité. Enfin nous avons entrepris, avec la batterie de tests ainsi définie, une campagne de mesures sur un grand nombre d'auditeurs normaux. Cette campagne est en cours, et devrait durer environ un ou deux ans.

OR 131 Intelligibilité de la parole

F.Santon, B.Scharf, Th.Angélini, Th.Voinier

Cette opération de recherche a été clôturée en 1988. Nous rappellerons donc simplement les résultats obtenus. A la suite des mesures effectuées (en coopération avec la Northeastern University de Boston) sur l'intelligibilité de consonnes synthétiques américaines DA et GA, en présence de bandes de bruit, nous avons mis en évidence l'existence de deux catégories d'auditeurs :

- une première catégorie donne une courbe d'intelligibilité, en fonction de la fréquence centrale F_b des bandes de bruit, qui évoque une "courbe d'accord", pour un niveau de parole assez élevé; le minimum correspond à la fréquence de 2,5 kHz (courbe de "type B"),
- une deuxième catégorie d'auditeurs donne une courbe très différente pour un niveau de parole plus faible d'une quinzaine de décibels; le minimum est atteint pour une fréquence de 1 kHz, puis l'intelligibilité augmente régulièrement avec la fréquence centrale de la bande de bruit masquante (courbe de "type M"); il est apparu qu'en donnant aux auditeurs de la première catégorie un "feedback" on passait d'une courbe de type B à une courbe de type M.

On peut attribuer cette dichotomie à une audition de type "phonétique" pour la première catégorie d'auditeurs, et de type acoustique pour la deuxième. Une analyse en ondelettes a effectivement montré qu'il existait dans l'attaque du DA un indice acoustique qui permet, pour des auditeurs expérimentés, d'obtenir la courbe de type M. On note aussi que les

auditeurs anglophones ont donné une courbe de type B, comme les francophones non expérimentés.

OR 132 Coloration en acoustique des salles
F.Santon, Th.Angélini, Th.Voinier, P.Boussard

La coloration d'un son est la déformation sensible de son timbre, due en particulier à la présence d'un écho ou d'une série d'échos. C'est dire que ce problème trouve son application naturelle dans le domaine de l'acoustique des salles. D'autre part, la mesure du seuil de coloration, c'est-à-dire du niveau de l'écho qui provoque une différence de timbre à peine sensible, est un indice de l'acuité auditive d'un auditeur qui peut être significatif dans l'analyse de son profil psychoacoustique.

Nous avons considéré en particulier le problème de la coloration dans le cas simple où le signal est un bruit blanc, et où l'écho a la même direction frontale que le son direct. On mesure par une méthode adaptative les variations du seuil de perception de la coloration (N_s) en fonction du retard τ de l'écho. Il apparaît que les auditeurs expérimentés donnent une courbe présentant un minimum élargi entre 1 et 5 ms, par contre celle des auditeurs inexpérimentés présente un minimum beaucoup plus localisé. L'utilisation d'écouteurs permet d'obtenir en moyenne un seuil plus bas que celui mesuré lors de l'écoute par haut-parleurs. Dans le cas où le signal est constitué par une bande de bruit dont la largeur est égale à une bande critique, et ayant pour fréquence centrale 250, 500 ou 1000 Hz, on obtient une courbe présentant des minimums locaux reliés à ceux du filtre en peigne créé par l'effet de coloration. Cet effet s'atténue si la largeur de la bande de bruit s'élargit à deux bandes critiques. Par contre, dans le cas de fréquences centrales de 2000 et 4000 Hz, il existe une grande similitude entre les courbes obtenues pour une et deux bandes critiques. Nous attribuons ces différences et ressemblances au rôle des bandes de résolution.

Nous avons également envisagé le cas d'un écho de direction latérale. Des mesures préliminaires ont montré que la courbe $N_s(\tau)$ obtenue pour un azimut de 60° est très différente de celle mesurée pour une direction frontale. On obtient en effet un profil descendant, analogue à celui obtenu pour la détection d'un écho, au sens du dédoublement. Pour un azimut de 15° , la courbe $N_s(\tau)$ est quasi plate. La confirmation de ces mesures est en cours.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, transnational et international.

Une grande partie de l'activité de l'équipe EAP s'exerce dans le cadre d'une convention avec le GERDSM, sur les aspects psychoacoustiques de la détection audiophonique sous-marine. Etant donné la diversité des thèmes abordés, nous avons le plus fréquemment essayé de développer ces travaux en collaboration avec d'autres organismes, français ou étrangers.

En Europe, nous entretenons depuis plusieurs années une coopération étroite avec la Ruhr Universität de Bochum (J. Blauert), financée au départ par le programme Procope. L'objet de cette coopération est la modélisation du système binaural et de la localisation, ainsi que la recherche des indices psychoacoustiques nécessaires à la reproduction sous écouteurs de l'espace sonore subjectif.

Cependant l'essentiel de notre activité extérieure est concentré sur les Etats-Unis. Les recherches sur les profils psychoacoustiques se font en coopération avec C. Watson (Indiana University, Bloomington, USA) et P.Divenyi (Veterans Administration, Martinez, USA) ; elles intéressent aussi le GERDSM (Le Brus) par les applications qu'elles peuvent trouver dans la détection sous-marine. La localisation et sa simulation par écouteurs forment la base de la coopération non seulement avec J. Blauert, mais aussi plus récemment avec E. Hafer (University of California, Berkeley, USA). Enfin, la sonie et l'attention sont des thèmes que nous avons en commun avec B. Scharf (Northeastern University, Boston, USA).

Publications de 1989 et 1990

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture.

J.Blauert, G.Canévet, Th.Voinier The precedence effect no evidence for an "active" release process found. J. Acoust. Soc. Amer., 1989, 85 (6), pp. 2581-2586.

B.Scharf The effect of listening on hearing. J Acoust. Soc. Japan, 1989, 10, pp. 309-317.

F.Santon L'acoustique des salles de concert. La Recherche, 1989, 20 (211), pp. 736-742.

L.M.A. - Equipe E.A.P.

J.P.Col, G.Canévet Perception auditive spatiale en écoute monaurale. *Acustica*, 1990, 71, pp. 50-57.

B.Scharf The case for precocious effects of attention on auditory processing. *Behavioral and Brain Sciences*, 1990, 88, pp. 252-253.

G.Canévet, B.Scharf The loudness of sounds that increase and decrease continuously in level. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1990, 88 (5), pp. 2136-2142.

Ouvrages de synthèse.

G.Canévet Audition binaurale et localisation auditive aspects physiques et psychoacoustiques. In "Psychoacoustique et perception auditive", Ed. INSERM-SFA-CNET, 1989, Chap. 3, pp. 83-119.

B.Scharf, C.Possamaï, A.M.Bonnel Deceptive psychophysics The probe-signal method on focused attention. In *Psychophysics in Action*, S. Dornic and Ljunggren, Eds, 1989, pp. 67-80. Springer Verlag, Berlin.

Publications de conférences à des colloques avec actes.

G.Canévet, M.C.Botte, B.Scharf, Loudness adaptation when and why it occurs. 13th Intern. Congress on Acoustics, août 1989, Belgrade. Proc. pp. 381-384.

F.Santon Nouveaux résultats sur la coloration. 13th Intern. Congress on Acoustics, août 1989, Belgrade. Proc. pp. 439-442.

J.P.Col Localisation monaurale de son pur dans le plan horizontal. 13th Intern. Congress on Acoustics, août 1989, Belgrade. Proc. pp. 395-398.

J.P.Col Influence d'une bande de bruit sur la localisation d'un signal. 8ème Symposium FASE 89, 1989, Saragosse (Espagne). Proc. pp. 307-310.

F.Santon Coloration d'une bande de bruit due à un écho. 1er Congrès français d'acoustique, avril 1990, Lyon, France.

Publications de conférences à des colloques avec actes à diffusion restreinte.

B.Scharf Effets de l'attention sélective dans l'audition. Journées du Club de Neuroacoustique, Conférence invitée, 21-22 avril 1989, Lyon, France.

B.Scharf Loudness adaptation measured by the method of successive magnitude estimation. Invited paper, Symposium on Ratio Scaling of Psychological Magnitudes. 30 juillet - 2 août 1989, Syracuse, NY, USA.

B.Scharf, G.Canévet Loudness adaptation, loudness functions, and decruitment. Intern. Soc. Psychophys. (5ème réunion) Fechner Day 89, 21-24 oct. 1989, Cassis, France.

F.Santon Coloration of a white noise and of bands of noise in the presence of an echo (Poster). Intern. Soc. Psychophys. (5ème réunion) Fechner Day 89, 21-24 oct. 1989, Cassis, France.

Thèses soutenues.

J.P.Col Localisation auditive d'un signal et aspects temporels de l'audition spatiale. 18 septembre 1990.

Notes internes L.M.A.

J.Blauert, J.P.Col Etude de quelques aspects temporels de l'audition spatiale. Note n° 118, décembre 1989

F.Santon Coloration d'un bruit blanc et de bandes de bruit apportée par un écho de même direction frontale. Note n° 119, juillet 1990

Autres manifestations sans actes.

G.Canévet, Conférence invitée à l'Université de Floride, Gainsville (USA), 27 janvier 1989.

B.Scharf How selective attention determines what we hear. Invited paper, Department of Psychology, University of Calgary, Canada, mai 1990.

***G. GROUPE DE RECHERCHE EN COLLABORATION
AVEC L'I.M.T.***

Equipe Modèles Numériques (M.N.)

Responsables : O.DEBORDES puis V.MARTIN

Composition (fin 1990) S.BONELLI (boursier de thèse CEMAGREF), A.BOUKAMEL (enseignant-chercheur IMT), M.CHEZEAUX (IR2), O.DEBORDES (Professeur Université d'Aix-Marseille II), F. GOLAY (boursier CIFRE), F.JAZZAR (boursier de thèse CIES), V.MARTIN (CR1), J.P.QUEVAT (MC en délégation à l'IMT), S.QUILICI (BDI cofinancée CISI-Ingénierie), I.VALENTIN (BDI cofinancée région PACA), R.VAUCHER (BDI cofinancée Renault).

Ont aussi fait partie de l'équipe au cours de la période 1987-90 M.JAEGER (jusqu'à mi-90, boursier de thèse DCAN, thèse soutenue en juin 90 à Compiègne), H.JAFFAL (jusqu'en septembre 89, boursier de thèse CIES, thèse soutenue en septembre 89 à Marseille), J.C.MICHEL (ingénieur contractuel jusqu'en septembre 90, maintenant CR1 dans l'équipe de P. Suquet).

Orientation générale

Cette équipe, créée en 1985 avec pour vocation de faire partie de la composante CNRS de l'Institut Méditerranéen de Technologie (IMT) créé en 1986, s'est dès le début centrée sur la modélisation et la résolution numériques de problèmes issus de la mécanique (des solides essentiellement), en se spécialisant sur les problèmes présentant un degré élevé de complexité dû :

- soit à de fortes non-linéarités physiques (grandes déformations élastoplastiques, non-linéarités géométriques, évolutions thermiques brutales,...),
- soit à un étroit couplage de phénomènes mécaniques différents (propagations d'ondes acoustiques et mécaniques avec raccordement à l'infini,...) ou de phénomènes physiques (thermique-cinétique chimique, thermique-mécanique,...),
- soit enfin à des problèmes multi-échelles (passage micro-macro en homogénéisation,...).

Ce degré de complexité, de nature scientifique, est fortement accru par l'origine industrielle des problèmes traités au titre des applications.

Compte-tenu du savoir faire existant dans l'équipe début 87 en modélisation des grandes perturbations élastoplastiques (acquis essentiellement dans le cadre du GRECO "Grandes déformations et endommagement"), n'ont figuré comme opérations de recherche dans l'équipe que les thèmes :

- Modélisation macro/micro des matériaux et structures (OR 053),
- Modélisation numérique de la propagation d'ondes mécaniques (OR 37),

étant entendu, néanmoins, que ce savoir-faire en grandes perturbations élastoplastiques a fait l'objet d'une importante opération de transfert de connaissances (notée par la suite SIC-'Mise en forme'), menée en étroite collaboration avec la division MNM de l'UTC et sur laquelle ont travaillé six personnes à temps plein (dont deux à Marseille) durant trois années.

En outre, la nature même des activités scientifiques de l'équipe conduit à d'importants développements logiciels et algorithmiques qui, sans faire l'objet d'une opération de recherche proprement dite, sont néanmoins sous-jacents aux deux OR citées ; certains de ces travaux, sur le parallélisme entre autres, peuvent être considérés comme de nature prospective.

Compte-tenu de sa vocation, l'équipe s'est installée dans le locaux de l'IMT dès leur disponibilité (mi 89) tout en continuant à faire partie du LMA en attendant la structuration de la composante CNRS de l'IMT.

Sur le plan des équipements, les besoins de l'équipe sont essentiellement de nature informatique et bien sûr croissent fortement avec le temps, aussi bien à cause de la croissance de l'équipe (qui a doublé en quatre années) qu'à cause du degré croissant de complexité des problèmes traités (passage du 2D au 3D même pour des problèmes non-linéaires) ou qu'à cause de l'évolution très rapide des matériels informatiques. C'est ainsi, qu'outre les moyens du LMA, l'équipe a disposé d'un MicroVax II (acquis sur crédits IMT) de mi 86 à mi 89, dispose maintenant de trois stations de travail Apollo (acquises début 88 en copropriété LMA-IMT), de cinq stations de travail Digital et d'une machine parallèle à 25 transputers (acquises fin 89 sur crédit régional).

Sur le plan logiciel "éléments finis", l'équipe travaille dans le cadre des logiciels développés par la division MNM de l'UTC en collaboration étroite avec certaines de ses équipes de recherche (réseau Decnet permanent entre nos matériels et ceux de l'UTC). Enfin, l'équipe est aujourd'hui

raccordée au réseau informatique régional R3T2, ce qui lui donne accès au réseau national EDUNET en attendant la création du réseau national 'Recherche'.

Sur le plan de l'enseignement, les deux enseignants-chercheurs de l'équipe et V.MARTIN se sont fortement impliqués dans les enseignements de Mécanique en 2^{ème} et 3^{ème} cycles à Marseille, et en particulier ceux de Mécanique des Solides à l'ESIM (école d'ingénieurs dans l'IMT) ; cette implication a eu pour effets bénéfiques la création d'une option "Vibrations-Matériaux-Structures" dans le DEA "Acoustique et Dynamique des Vibrations" alimentée essentiellement (cinq sur six en 90-91) par les élèves-ingénieurs de l'ESIM, et celle d'un Doctorat de Mécanique des Solides à l'Université d'Aix-Marseille II (actuellement six inscrits, dont cinq ingénieurs ESIM). Il est vraisemblable que pour quelques années encore, les étudiants en thèse de Mécanique des Solides à Marseille seront très majoritairement d'origine ESIM. On notera aussi des participations régulières à des enseignements du CNAM à Paris, de Master à l'Université Laval (Québec) et de DEA à l'ENIT (Tunis). Par ailleurs, cette activité se traduit par la présence dans l'équipe de 1 à 3 stagiaires DEA chaque année.

Concernant le personnel, l'équipe a connu une forte croissance (doublement en quatre années) et ce malgré trois départs (deux après soutenance de thèse, un par suite d'un recrutement au niveau CR1 dans une autre équipe du LMA). Cette croissance, combinée à l'ampleur récente de l'OR 37 et ses perspectives à court et moyen termes, nous a conduits fin 1990 à l'essaimage d'une nouvelle équipe sous la direction de V.MARTIN et centrée sur l'OR 37.

On notera quand même une certaine fragilité de l'équipe due à un sous-encadrement par du personnel permanent CNRS, en particulier pour l'opération de recherche OR 053 qui ne bénéficie que de l'encadrement de deux enseignants-chercheurs pour un ingénieur et six étudiants en thèse ; le recrutement d'un CR2 en Mécanique des Solides permettrait d'une part de continuer cette croissance, et d'autre part d'assurer une plus forte cohérence dans le temps des thèmes de recherche, aujourd'hui trop soumis aux aléas d'opportunités de financement de bourses de thèse.

Sur le plan des collaborations, l'équipe a fait partie des GRECO "Grandes déformations et endommagement" et "Calcul des Structures" dans lesquels elle a été aussi amenée à assurer des responsabilités thématiques ; ces appartenances ont en particulier renforcé les collaborations déjà étroites avec la division MNM de l'UTC et le Laboratoire de Mécanique des Structures de l'ENSM (Nantes), et ont permis d'en développer avec le LMGMC (Montpellier) et le Laboratoire de Mécanique des Solides (Poitiers). Cela se traduit par notre participation au programme européen ASANCA et par un projet de création d'un "Institut de Modélisation en

Ingénierie" qui devrait voir le jour fin 1991 (sous une forme à préciser) mais dans lequel nous sommes très présents. Toutes ces collaborations impliquent fortement le milieu industriel (Aérospatiale, Renault, Pêchiney, Cisi,...), aussi bien au niveau thématique de l'équipe qu'au niveau de son financement.

A côté de ces collaborations officielles aux niveaux national et européen, on notera des collaborations universitaires plus informelles mais très riches scientifiquement avec des laboratoires en Belgique, au Canada et en Tunisie.

Sur le plan des perspectives à court et moyen termes, et outre le développement des actions en cours, on notera l'émergence d'un thème "élastomères" sur lequel devraient travailler trois personnes fin 1991, ainsi que notre participation (de l'ordre de trois personnes fin 91 ou début 92) aux thèmes "atelier de modèles physiques" et "parallélisme" du futur Institut de Modélisation en Ingénierie.

Activités de recherche

OR 053 **Modélisation macro/micro des matériaux et structures**
 S.Bonelli, A.Boukamel, M.Chezeaux, O.Debordes, F.Golay,
 H.Jaffal, F.Jazzar, S.Quilici, R.Vaucher

Cette opération de recherche, majeure dans l'équipe autant par le nombre de personnes affectées que par la durée des actions (en moyenne trois années, soit la durée d'une thèse), recouvre en fait plusieurs thèmes de recherche, ce qui pourrait passer pour une certaine dispersion. En fait, sur les sept sujets présentés, les trois premiers relèvent strictement de la thématique de l'OR, le quatrième en est une extension naturelle puisqu'il concerne des structures composites, les cinquième et sixième peuvent être vus comme des actions prospectives respectivement vers la Mécanique des Sols et le calcul parallèle ; quant au septième sujet, attaqué en 90, il peut aussi bien s'insérer dans la thématique de l'OR qu'être à l'origine d'une nouvelle OR (comme nous le suggérons à la fin de ce rapport) compte-tenu de l'importance qu'il prendra dès 91

Modélisation du comportement macroscopique d'un composite métallique

Ce thème, financé par Péchiney-CRV, correspond à une des parties 'Recherche' de l'opération SIC-'Mise en forme' détaillée plus loin ; il a constitué le sujet de thèse de H. JAFFAL (soutenue en septembre 89) et concernait des composites à fibres courtes (SiC) et matrice aluminium ou alliage léger.

La première partie du travail a consisté en une modélisation (forcément tridimensionnelle vu le composite) du comportement macroscopique thermique dans la plage 20°-470°C, suivie de la modélisation macroscopique (avec les caractéristiques ainsi déterminées) d'une opération de trempe d'une pièce de révolution constituée d'un tel matériau. Une seconde partie a consisté en une petite étude paramétrée (par le taux volumique de fibres, leur élanement et leur recouvrement) des caractéristiques élastiques de ce matériau ; une modélisation approchée (parce que seulement bidimensionnelle) du comportement plastique a été aussi menée dans la même plage de températures.

C'est seulement après qu'a été abordée la partie vraiment originale de la thèse la modélisation du comportement macroscopique élastoviscoplastique de ce composite à chaud avec une application au filage. Les difficultés consistaient en :

- l'utilisation des méthodes d'homogénéisation avec un constituant élastique (SiC) et un constituant viscoplastique (aluminium) de Norton-Hoff,
- le traitement tridimensionnel de l'incompressibilité des déformations viscoplastiques,
- la modélisation du filage d'un matériau fortement anisotrope.

Pour la première, des raisonnements 'ingénieur' nous ont permis d'abord de séparer les études des parties élastique et viscoplastique du comportement macroscopique ; ensuite, nous nous sommes appuyés sur les résultats de C.LICHT et P. SUQUET au LMGMC pour poser un problème d'homogénéisation purement viscoplastique en approchant le comportement réel des fibres par un comportement viscoplastique presque rigide (coefficient de Norton-Hoff voisin de -1, grand coefficient de viscosité).

Pour traiter la deuxième difficulté, nous avons retenu une méthode (de type Petrov-Galerkin) proposée par T. HUGES dont la généralisation au cas tridimensionnel était triviale, en l'améliorant sur un point technique intégration de la contribution de la pression sur les éléments et non sur leurs côtés afin de diminuer les temps de calcul (8 points d'intégration pour un élément H20 au lieu de 24 points d'intégration). La mise en oeuvre sur le composite réel a alors fait apparaître une nouvelle difficulté la grande

différence entre les caractéristiques matérielles (exposant, coefficient de viscosité) des constituants ne permettait pas au schéma de Newton de converger ; cette difficulté a été résolue en faisant évoluer (selon un temps purement numérique) les exposants de Norton-Hoff des constituants de la valeur 0 (cas Newtonien, donc linéaire) jusqu'aux bonnes valeurs.

Cette difficulté résolue, la méthode s'est révélée fiable quoiqu'assez coûteuse en temps CPU (MicroVax II) ; les résultats obtenus sur les caractéristiques viscoplastiques macroscopiques se sont révélés en bon accord avec les résultats expérimentaux de Péchiney, sauf pour des températures très élevées (pour lesquelles l'approche Norton-Hoff n'est peut-être pas valable pour l'aluminium).

En ce qui concerne l'application au filage, les difficultés essentielles (modélisation de grandes déformations élastoviscoplastiques d'un matériau fortement anisotrope, contact-frottement en grands déplacements) avaient été résolues entre-temps respectivement par nous-mêmes et la division MNM de l'UTC dans le cadre de l'opération SIC-'Mise en forme'. De ce fait, cette application a juste consisté à utiliser le logiciel avec les bonnes valeurs !... ce qui a contribué à valider d'une part cet outil sur un exemple non trivial, et d'autre part le travail de JAFFAL.

Outre les acquis scientifiques, ce thème a donc conduit à une thèse, deux communications à des congrès internationaux, et des exposés internes au GRECO "Calcul des structures".

Modélisation du procédé de fabrication de pièces composites complexes

Ce thème, mené en étroite collaboration avec l'Aérospatiale (Laboratoire Central à Suresnes et Division Hélicoptères à Marignane), constitue le sujet de thèse de F.GOLAY (octobre 88 à septembre 91) ; il porte sur la modélisation de la polymérisation par cuisson des résines présentes dans des pièces composites et sur la modélisation des contraintes résiduelles pouvant apparaître au cours du refroidissement. Les objectifs visés peuvent être rassemblés sous l'étiquette 'évaluation de la qualité de la pièce finie', étant entendu qu'il s'agit d'évaluer aussi bien la qualité des constituants (degré de polymérisation) que la qualité géométrique (pas de déformations excessives) et que la qualité mécanique (contraintes résiduelles). Les applications visées étant des pales d'hélicoptères (pales de rotors principal et arrière) et des "mats rotors".

Outre la complexité due aux couplages entre diverses disciplines physiques (thermique-cinétique chimique lors de la polymérisation, thermique-mécanique lors du refroidissement), on notera l'important degré de

complexité dû à la présence de nombreux matériaux de comportements très différents (plus de dix matériaux dans la section d'une pale d'hélicoptère) et dû aussi à des géométries tridimensionnelles non triviales. Signalons que les caractéristiques thermiques ou mécaniques des divers composites constituant ces pièces sont connues soit expérimentalement, soit systématiquement déterminées par homogénéisation à partir des caractéristiques des constituants de ces composites.

Une première partie du travail a consisté à évaluer la faisabilité de la modélisation du refroidissement ; après une étude thermique portant uniquement sur la section d'une pale de rotor principal d'hélicoptère (supposant un contact parfait entre la pale et le moule, hypothèse qui a été validée a posteriori par une étude mécanique sur cette même section mais avec des éléments 'contact'), ses résultats ont été injectés dans une étude élastique tridimensionnelle pour en déduire les contraintes résiduelles et la géométrie finale ; la comparaison avec les résultats expérimentaux sur la géométrie a été satisfaisante. Une deuxième validation sur une pale de rotor arrière a elle aussi donné des résultats satisfaisants.

La deuxième partie du travail a consisté à réaliser le couplage thermique-cinétique chimique afin de pouvoir modéliser la polymérisation des résines lors de la cuisson de pièces. Une fois la partie numérique et logicielle effectuée, une première validation a été réalisée sur des cas académiques résolubles analytiquement, une deuxième sur la modélisation (selon l'épaisseur) de la cuisson d'une plaque telle qu'elle avait été menée à Suresnes dans le cadre d'une recherche purement expérimentale, et enfin une troisième validation a été menée sur deux "mats rotors". Si la première validation a surtout servi à vérifier la justesse des parties numérique et logicielle, la seconde validation (4% d'écart entre résultats numériques et expérimentaux) a permis de tester la qualité de la modélisation physique et en particulier de l'exothermie due à la cinétique chimique ; pour sa part, la dernière validation a d'une part vérifié la faisabilité sur des pièces tridimensionnelles, et d'autre part permis de retrouver qualitativement un cas de cuisson non satisfaisant (polymérisation très hétérogène, résine brûlée) et quantitativement un cas satisfaisant. On notera que cette dernière validation a nécessité l'implantation du logiciel sur notre machine parallèle à transputers (implantation grandement facilitée par le travail préalable de J.C. MICHEL, voir plus loin), moyennant quoi la simulation numérique peut se faire en temps réel... du fait de la durée du cycle de cuisson (84^h).

La dernière partie va consister à modéliser le refroidissement en supposant un comportement thermo-viscoélastique linéaire (de type Zener pour simplifier), paramétré par la thermique, et en suivant l'évolution afin de pouvoir vérifier l'état mécanique de la pièce tout au long du refroidissement.

L'ensemble de ce travail a donné lieu à une communication en 1990, et une communication acceptée pour 1991.

Modélisation de l'apparition et de l'évolution de la porosité dans un milieu pâteux en fonderie

Ce thème, mené en étroite collaboration avec Renault, vise à analyser finement le comportement thermomécanique de fontes GS lors du passage liquidus-solidus en fonderie ; en effet, il est admis que ce passage peut être à l'origine de l'apparition et de l'évolution (jusqu'à un niveau critique) d'une porosité diffuse. Ce thème est l'objet du sujet de thèse de R.VAUCHER, commencée en octobre 1989.

Sous cette définition générale, les difficultés sont considérables et un important élagage est indispensable. Tout d'abord le caractère diffus de la porosité que nous cherchons à modéliser nous conduit à utiliser des techniques d'homogénéisation périodique ; ensuite, afin de s'affranchir de la mécanique des fluides et en particulier de la convection entre cellules de base, nous nous intéressons seulement au cas où le passage liquidus-solidus est suffisamment avancé pour que le squelette solide enferme des bulles fluides (nous parlerons alors d'un milieu pâteux).

De ce fait, le problème considéré est celui d'une cellule de base comprenant un squelette solide avec des nodules graphitiques en ses sommets enfermant une bulle fluide au centre ; cette cellule de base est soumise à une évolution thermomécanique macroscopique dont les données sont les conditions initiales, une histoire de gradients thermiques et de déformations ; nous recherchons alors la réponse macroscopique (flux thermiques, contraintes) de la cellule en modélisant au niveau microscopique la thermique (y compris la chaleur latente pour tenir compte du passage liquidus-solidus), la mécanique et le contact thermo-mécanique entre les parties solide et fluide. C'est grâce à ce dernier point que nous espérons faire apparaître une cavité microscopique pour certaines évolutions macroscopiques.

La première année de travail de R.VAUCHER a consisté à acquérir les connaissances de base et un savoir-faire en fonderie (séjour de trois mois chez Renault), à traiter la partie mécanique sous diverses configurations, et à acquérir la maîtrise de la modélisation numérique thermo-mécanique en fonderie telle qu'elle a été développée dans la division MNM de l'UTC (thèse de SONG sous la direction de G.DHATT).

Utilisation de l'I.A. en prédimensionnement de structures composites

Ce thème, mené en collaboration avec CISI-Ingénierie dans le cadre du GRECO "Calcul des Structures", vise à développer des méthodes non exclusivement numériques d'aide à la conception de pièces composites ; il constitue le sujet de thèse de S.QUILICI (octobre 1988 à septembre 1991).

Contrairement aux méthodes classiques en optimisation de pièces métalliques, qui consistent essentiellement à optimiser la géométrie (forme et épaisseur) en tenant compte de contraintes de service et de faisabilité, la conception de pièces composites nécessite aussi celle des matériaux (constituants de base, séquences d'empilement, orientations,...). Nous avons choisi de nous focaliser sur cette difficulté en supposant la géométrie donnée (de type plaque ou coque) à l'exception éventuellement de l'épaisseur. Supposant que les contraintes technologiques et économiques ont permis de fixer le choix des constituants de base, les variables de conception sont donc a priori le nombre de plis, les orientations de ces plis, l'ordre d'empilement, et les contraintes de conception à satisfaire sont mécaniques (fonctions de la pièce, masse 'minimale', critères de rupture, charge critique au flambement, première fréquence de vibration). Comme le savoir-faire (surtout vis-à-vis du délaminage) et les tissus pré-imprégnés disponibles limitent drastiquement le choix des orientations et leur empilement, on peut considérer que toutes les variables de conception sont discrètes ; par ailleurs, les contraintes de conception étant de nature mécanique, leur évaluation pour chaque jeu de valeurs des variables de conception est de nature numérique.

Cette constatation nous a amenés à retenir une approche techniquement basée sur le langage Prolog pour définir l'algorithmique de base, mais utilisant des règles externes écrites en Fortran pour qualifier (c'est-à-dire évaluer les contraintes de conception pour) chaque jeu de valeurs des variables de conception. Dans cette algorithmique de base, les points principaux sont :

- le matériau est localement la répétition d'un sous-stratifié de base, sous-stratifié qui est paramétré par le nombre de plis, leur séquence d'empilement et d'orientation ; les choix retenus, pour des raisons de disponibilité industrielle et de validité (vis-à-vis du délaminage), conduisent à une 'base de sous-stratifiés' comportant 165 éléments ;
- pour chaque choix d'un sous-stratifié de base, l'algorithme n'a plus qu'à "optimiser" (en variables entières) le nombre de répétitions, ce qui nous ramène à un problème d'optimisation en variables entières, mais traité en variables continues ;

- le coeur de l'algorithme consiste donc à parcourir la base des sous-stratifiés selon un arbre dont la structure est fortement liée au choix des contraintes de conception et de leurs importances relatives.

C'est dans ce dernier point algorithmique que le langage Prolog révèle sa supériorité par rapport aux langages 'numériques' classiques ; stockant dans une base de faits les parties parcourues (donc connues) de l'arbre, le concepteur est alors à même de reprendre à n'importe quel point son processus pour modifier les importances relatives des contraintes de conception, classer les 'faits', orienter de nouveaux parcours dans cet arbre,... sans avoir pour autant à procéder à une analyse exhaustive de tous les cas possibles.

Il est clair que cette approche est très heuristique, et sa validation ne peut découler que de sa pratique ; une autre approche, purement numérique, n'aurait pu faire mieux dans la mesure où aucune propriété de convexité ne peut être exhibée. Les cas traités à ce jour permettent d'être assez optimiste quant à l'utilité pratique du travail effectué, qui par ailleurs a fait l'objet d'une communication acceptée en 91.

Modélisation en Mécanique des Sols

Ce thème, abordé en février 90 avec le démarrage de la thèse de S.BONELLI, est mené en collaboration avec le CEMAGREF et fait aussi partie du programme du GRECO 'Géomatériaux' ; il vise essentiellement à utiliser notre savoir-faire en grandes déformations plastiques pour résoudre des problèmes de Mécanique des Sols (saturés ou non), et de ce fait s'appuie grandement sur le transfert 'SIC-Mise en Forme' détaillé plus loin.

A ce jour, le travail a consisté à intégrer dans ce cadre logiciel plusieurs modèles de Mécanique des Sols ; compte-tenu de la difficulté numérique du thème, une incursion dans l'utilisation du parallélisme a été nécessaire (une communication en 90).

Une approche du 'calcul parallèle'

La complexité des problèmes traités par l'équipe, aussi bien que l'affichage du "parallélisme" comme thème de travail du GRECO "Calcul des Structures" ou que notre conviction personnelle sur l'avenir de ce thème, nous ont amenés à lancer une étude de faisabilité de calculs fortement non-

linéaires sur une machine constituée d'un transputer 'maître' et de 24 transputers de 'travail' (connectée à une station de travail). Cette étude a été menée en collaboration avec Renault et l'essentiel du travail effectué par J.C.MICHEL.

Nous avons retenu une approche basée sur :

- un algorithme de type client/serveur pour tous les calculs 'élément par élément',
- l'implémentation proposée par FARHAT & WILSON du solveur (par une méthode directe) des systèmes linéaires tangents,
- trois réseaux de communication logiquement distincts (un pipe-line, un anneau et un arbre, ce dernier utilisant une carte 'crossbar').

Cette approche a été validée sur trois problèmes posés par Renault (deux problèmes d'emboutissage et un problème de thermique instationnaire) et fait ressortir un rendement global de plus de 80% sur des problèmes significatifs ; en outre, elle a aussi été utilisée sur d'autres problèmes de l'équipe ; enfin, elle a donné lieu à trois communications.

Elastomère-Métal

Suite à son travail de thèse (soutenue en septembre 88), mené dans le cadre d'une autre équipe du LMA en vue d'applications au génie parasismique, A.BOUKAMEL a orienté en 1990 ses activités sur la modélisation de pièces élastomère-métal vers les applications aux butées sphériques et aux 'amortisseurs de fréquence' (liaison pale-rotor) des hélicoptères, en collaboration avec l'Aérospatiale.

Cette orientation a donné lieu à une première opération avec l'Aérospatiale en 1990, et devrait connaître un développement important au cours des prochaines années, une thèse étant déjà lancée en septembre 90 (F.JAZZAR).

Sur les cinq thèmes proposés pour décrire l'activité de recherche ces quatre dernières années 87-90, l'un se termine par une publication en 89, l'autre est décrit dans une publication de début 91, le troisième pose souci pour l'interprétation physique délicate qui demande encore des investigations ; au demeurant les difficultés techniques de mise en oeuvre (vu la complexité du problème) sont dominées. Le quatrième sujet, est sans doute ponctuel mais d'actualité puisque des travaux parallèles dans le domaine temporel seront publiés par une équipe italienne en 90. Le dernier thème présenté a beaucoup apporté au nécessaire élargissement des connaissances mais constitue un échec partiel. Cependant nous essaierons de faire fructifier l'investissement dans ce domaine.

Commande des sources susceptibles de rayonner un champ de propagation fluide guidé

Le travail d'identification de la commande des sources situées en parois d'un guide rigide et susceptibles de rayonner un champ guidé à structure modale fixé à l'avance se développait, après 85, sur deux points. D'une part on vérifiait, par expérience numérique, que plusieurs positions d'excitateurs capables d'émettre le champ fixé possédaient des coûts différents au sens de la tension à appliquer à leurs bornes et que des positions, qu'on ne pouvait pas prévoir à priori, étaient inefficaces. En second lieu on observait plus finement le champ près des sources commandées on voulait voir si la convergence spatiale du champ vers le champ fixé à quelque distance des émetteurs dépend effectivement de leur position. Une telle observation aurait conduit à définir une mesure de l'efficacité de la localisation. Le résultat n'a pas été très significatif.

Ce travail prend fin avec une publication en mars 89 (Eur. J. Mech. B/ Fluids) où on souligne, entre autres, que la méthode du gradient a l'avantage sur une autre de n'être point contraignante sur l'excitation d'initialisation de la commande.

On essaie aujourd'hui de faire évoluer le sujet vers la commande des sources en fonction de leur position lorsque le champ qu'elles doivent rayonner n'est pas à structure modale classique car on sait maintenant (cf. 2/) que le couplage fluide intérieur-contour en flexion perturbe le champ selon l'axe du guide. De plus, étant en mesure (cf. 3/) de faire intervenir la charge extérieure, il est intéressant dans beaucoup de

situations réelles de chercher à s'opposer à un champ intérieur engendré par une ou des sources extérieures. L'évolution de ce travail est incluse aujourd'hui dans un projet européen, en étroite collaboration avec l'ENSM à Nantes (Bernard Peseux) et le LMA à Marseille (Alain Roure).

Etude du couplage des ondes de flexion en paroi d'un guide avec les ondes de compression du fluide qui y est confiné

Lors de la mise en oeuvre d'une expérience de propagation fluide guidée on observait, contre toute attente, une dispersion de célérité le long de l'axe longitudinal du guide de ce qui aurait dû être le mode plan. Ce phénomène demandait confirmation par plusieurs méthodes de mesure indépendantes. Cependant pour gagner du temps sur la mise en oeuvre d'expériences, toujours longue, on entamait une étude numérique du couplage des ondes de flexion-ondes de compression pour vérifier s'il pouvait être à l'origine des variations de célérité en question. Au début 86, seule la discrétisation en triangle qui décrit le comportement d'une plaque statique par éléments finis était présente au LMA. Tout en reconnaissant le manque de rigueur à coupler cette discrétisation, qu'il fallait adapter au comportement dynamique, avec la discrétisation hexaédrique créée pour le modèle de propagation guidée, on opérait le couplage qui, étonnamment, donnait des résultats non absurdes.

A la réception en Juin 86 des éléments carrés pour la plaque une remise en cause s'imposait qui nous satisfaisait car nous retrouvions par le modèle la dispersion de célérité expérimentale, entre autres. Une note au CRAS paraissait à ce sujet en 88.

Parallèlement au phénomène de dispersion de célérité, nous regardions finement les comportements fluide et structure à l'interface. L'hypothèse habituellement admise de la réaction locale des parois sous la forme d'une égalité de nombres d'ondes longitudinaux n'est pas vérifiée numériquement, elle ne l'était pas non plus expérimentalement. Une réflexion approfondie pourrait conduire à de nouvelles démarches analytiques dans ces problèmes particuliers de couplage. Malgré tout, à ce stade, un article est paru au JSV en 91.

Couplage fluide-structure-fluide

Dans les résultats précédents, la charge extérieure n'existait pas. Qu'en est-il en considérant le fluide extérieur? Pour répondre à cette question on couplait la matrice qui simule le rayonnement hors du guide fermé,

construite par la méthode des équations intégrales directes, avec la matrice du problème intérieur/contour provenant d'une méthode de calcul par éléments finis aussi bien pour les parois que pour le fluide confiné à l'intérieur. Au travail de mise au point (en 88 on gagnait 15% du temps CPU en exploitant l'architecture des matrices en jeu et en minimisant la taille des tableaux) s'ajoutait le choix des fonctions d'interpolation au moment du "collage" des matrices. Ces difficultés techniques dominées, les premiers résultats furent acquis début 89. Mais l'interprétation physique des résultats est délicate eu égard à l'originalité du sujet et ce dernier exige encore du travail pour confirmer nos conclusions.

Ce problème a constitué le cinquième et dernier problème type résolu au sein du GRECO "Calcul des Structures", en collaboration avec l'ENSM à Nantes (B.Peseux). La synthèse de ces cinq problèmes induisait une architecture nécessaire au couplage des divers codes de calcul dans des problèmes complexes tels que celui qu'on vient de décrire. Ce volet d'architecture logicielle forme l'essentiel de notre intervention dans le GRECO dont le rapport final a paru en 89. Une réflexion approfondie sera présentée au Congrès de Giens en 91 ; le soutien technique de cette réflexion constitue aujourd'hui une ébauche d'article.

Propagation en milieu fluide stratifié

A l'occasion de la création d'un cours sur l'intérêt de la méthode du calcul par éléments finis pour des élèves Ingénieurs en fin d'étude, on menait le calcul de la réflexion d'une onde sphérique aérienne sur la mer à profil d'impédance verticale quelconque. L'eau, portée par un sédiment fluide, repose sur un substrat rigide. La méthodologie est simple l'onde sphérique est décomposée en ondes planes pour chacune desquelles le problème de la transmission est résolu par la méthode des éléments finis monodimensionnels selon l'axe vertical, cette méthode permettant de prendre en compte n'importe quel profil d'impédance. La partie réfléchie se déduit aisément et les ondes planes réfléchies synthétisées conduisent à l'onde totale réfléchie. Précisons que les ondes planes provenant de l'analyse de la source sont propagatives ou évanescentes. Dans le milieu hétérogène verticalement il faut discuter sur la nature de l'onde en jeu à chaque cote (onde progressive ou évanouie) i.e. faire choix de détermination dans les nombres d'ondes verticaux.

Ce problème suscitait la curiosité de l'équipe Ultra-sons du LMA qui demandait de réfléchir au cas de la source dans le fluide hétérogène verticalement, fluide porté par un sédiment semi-infini. La comparaison avec des résultats analytiques obtenus dans cette équipe à l'aide de la théorie modale permettait de prendre confiance dans les résultats

numériques. Notons que la série des modes, dans le cas de la strate marine homogène, exige la présence de modes orthogonaux donc de valeurs propres selon l'axe vertical. On ne manquait pas de passer sur ces valeurs propres en décomposant l'onde sphérique en ondes planes d'où des solutions instables. C'est en introduisant un faible amortissement dans le milieu fluide, qui devient ainsi légèrement visqueux, que la difficulté fut palliée.

Postérieurement aux résultats acquis, ce thème a permis quelques contacts avec l'ENSTA (D.Euvrard et M.Lenoir) sur la formalisation de ce type de problèmes.

Au Congrès de Lyon 90, où une communication est parue pour ce sujet, une équipe italienne spécialisée dans ce type d'approche présentait la version temporelle de notre travail qui, perdant en originalité, gagne en confiance. Le développement de notre travail semble être lié à la facilité avec laquelle l'équipe italienne transfère ses résultats sachant que nos méthodes sont à la disposition de qui peut en avoir besoin!

Modélisation numérique de la propagation des ondes élastiques

Les travaux numériques pour une onde scalaire nous avaient appris à intégrer des conditions aux limites non locales dans un code de calcul par éléments finis en 83. On proposait un essai de généralisation de la démarche avec une étude exploratoire dans le domaine des ondes dans les solides. Saurait-on ramener sur un contour, celui du calcul numérique, le comportement de l'onde vectorielle au loin essentiellement dans le cas d'un demi-espace? A l'époque, la méthode d'approximation paraxiale semblait la seule disponible pour traiter ces problèmes.

Le travail préliminaire qui consistait à se munir de problèmes de référence terminait en 86. Les développements des méthodes de Cagniard-DeHoop pour un problème de Lamb à excitation linéique de surface et la méthode d'Aki-Larner pour un problème de diffraction d'une onde de volume SH sur une surface de profil quelconque donnait lieu à un stage de DEA.

Simultanément, par analogie avec les schémas de calcul par couplage entre la méthode des éléments finis et des équations intégrales disponibles en acoustique et en hydrodynamique, on écrivait un schéma formel pour les ondes élastiques dans un demi-espace pour souligner les difficultés à vaincre. Ce schéma fut soumis à un colloque d'ATP et discuté dans l'équipe Mécanique du Laboratoire des Ponts et Chaussées à Noisy-le-Grand fin 86.

Dans la forme intégrale de Somigliana qui ramène le comportement élastique dynamique d'un demi-espace sur la surface libre infinie, on approche le déplacement de surface "loin des sources" par le déplacement des ondes de Rayleigh. Ainsi l'infini de surface est décrit sur un contour fini "proche des sources". Cette contraction qui s'opère par un calcul d'intégrale dans le champ complexe afin d'accélérer la convergence constituait l'objet de discussions et d'échange de courrier avec André Martin à la chaire de Mathématiques du CNAM Paris. Une démarche numérique, qui visait à définir ce que signifie "loin des sources", n'a pas donné des résultats très significatifs. Les difficultés rencontrées ne furent pas approfondies car ce travail s'est trouvé en retrait des activités décrites précédemment.

Notons que ce sujet donnait aussi l'occasion d'une réflexion de fond sur les intégrales de Cauchy qui interviennent dans la forme de Somigliana. Cette dernière forme intégrale est discrétisée pour donner des éléments de contour. Sur ceux-ci les déplacements sont approchés à l'aide d'une interpolation nodale et les intégrales sont calculées par morceaux sur les éléments de références (démarche classique pour les calculs par éléments finis reproduite ici avec les équations intégrales). En 88 paraissait un article sur le calcul des intégrales de Cauchy 1D directement sur ces éléments de référence et on transposait la démarche pour des intégrales de contour 2D. L'échec de la première partie de ce sujet n'a pas permis d'envisager l'insertion de ce développement dans les calculs.

Quoi qu'il en soit des raisons pour lesquelles ce thème n'a pas reçu l'attention qu'on aurait voulu lui donner, on reviendra d'une façon ou d'une autre sur ce type de travail pour exploiter le temps investi.

Les efforts faits ces dernières années sur l'utilisation des méthodes de calcul pour ces problèmes de propagation (théorie modale, éléments finis, équations intégrales) ont forgé une certaine maturité. Il manque bien sûr la dimension qu'apporte les expériences dans le domaine harmonique linéaire. Le goût de celles-ci reste mais les conditions actuelles ne soutiennent guère ce type d'action. Quant aux aspects calculs, on se doit maintenant d'envisager des études de propagation non harmonique voire non linéaire. Dans cet esprit nous avons participé à la préparation d'un projet européen avec une intervention sur les aspects de propagation en élastoplasticité, en collaboration avec O. Debordes. Un rapport MRT matérialise en 90 une première incursion, encore timide, dans cette voie.

Activités de transferts de connaissances

A.BOUKAMEL, M.CHEZEAUX, O.DEBORDES,
H.JAFFAL, J.C.MICHEL, I.VALENTIN

Ces activités sont concentrées sur deux points d'une part le transfert (en étroite collaboration avec la division MNM de l'UTC) vers le monde industriel du savoir faire acquis dans le cadre du GRECO "Grandes déformations et endommagement", et d'autre part plusieurs actions (dont une thèse) dans le domaine du "Génie Bio-Mécanique".

SIC-Mise en Forme

Le savoir-faire (scientifique et technique) acquis dans le cadre du GRECO "Grandes déformations et endommagement" nous ont conduits, avec la division MNM de l'UTC, à monter fin 85-début 86 une opération de transfert de connaissances vers le monde industriel basée sur une architecture logicielle (SIC = 'Système Intégré de Conception') alors en cours de développement à Compiègne.

Cette opération s'est basée, chronologiquement, sur :

- une convention générale passée dès 86 entre la 'Mission des relations avec les industries' du CNRS, l'UTC, le LMA (via le CNRS), et la Société 'Compiègne Science Industrie' (aujourd'hui 'Framasoft+ CSI') pour les aspects commerciaux,
- une convention annuelle (renouvelée deux fois) entre l'AAIMT (association 'Loi 1901' qui a enfanté de l'IMT) et le Centre de Recherche de Voreppe du groupe Pechiney,
- une aide remboursable, convention passée entre le LMA et l'Anvar-Marseille pour deux années,
- une convention annuelle (renouvelée deux fois) entre GRADIENT (association 'Loi 1901' étroitement liée à l'UTC) et Renault.

Financée pour un montant total de l'ordre de 4 MF, cette opération s'est déroulée de fin 86 au début 91 et a nécessité six personnes (dont deux à Marseille) à temps plein durant trois années, sous notre responsabilité administrative.

Pour le LMA et sur les plans scientifique et technique, cette opération s'est traduite par le travail de thèse de H.JAFFAL, une part du travail de co-

direction d'une thèse (M.ELMOUATTASSIM) soutenue à l'UTC, et surtout le travail logiciel (considérable) de J.C.MICHEL pour inclure dans ce logiciel SIC toutes les techniques d'homogénéisation périodique, de prise en compte de relations linéaires, et les 'routines' générales d'intégration temporelle de lois de comportement complexes (en particulier celles d'élastoviscoplasticité de CHABOCHE et LEMAITRE).

Au jour de la rédaction de ce rapport (mi-mai 91), cette opération de transfert est virtuellement terminée et déjà une convention ponctuelle de commercialisation est en cours de passation entre la 'Mission des relations avec les industries' du CNRS et la Société 'Framasoft + CSI'.

Sur un plan purement scientifique, et outre le travail de thèse de H. JAFFAL déjà présenté, on notera une communication en 87 et, surtout, le travail prospectif sur les aspects du parallélisme qui a permis de mener une action significative de recherche (détaillée ci-avant).

En Génie Bio-Mécanique

Un travail, de nature expérimentale (mesure de l'échauffement en cours de forage d'un os), mené en 87-88 par une autre équipe du LMA en collaboration avec une équipe de chirurgiens-dentistes, aussi bien que l'affichage du GBM comme un des thèmes de recherche de l'IMT, nous ont conduits à lancer une thèse (I.VALENTIN) en octobre 88 et à traiter, de manière ponctuelle, une modélisation numérique pour le compte de l'équipe GBM de l'IMT.

La thèse consiste à mener la modélisation numérique d'un implant dentaire dans un maxillaire inférieur en vue d'abord de mieux comprendre cette mécanique particulière, et ensuite d'affiner leur conception ; la difficulté essentielle réside dans la modélisation du contact avec adhésion initiale entre l'implant et les os cortical et spongieux ; une autre difficulté de conception réside dans la forme de l'implant qui doit présenter une surface de contact importante dans un volume réduit tout en évitant l'apparition de zones à concentration de contraintes. La première année de travail a consisté à mener une étude tridimensionnelle afin de quantifier les niveaux de déformations et de contraintes lorsque le contact os-implant est parfait, puis à mener une étude bidimensionnelle avec contact-frottement sans adhésion initiale afin de traiter un cas très imparfait ; cette deuxième partie a conduit à mettre au point une technique de 'zoom numérique' afin de pouvoir affiner la modélisation dans la zone sensible tout en tenant compte de conditions aux limites réalistes dans son voisinage.

Ce travail, mené en collaboration avec une équipe de trois-chirurgiens-dentistes, a donné lieu à une publication et une communication.

Par ailleurs et pour le compte de l'équipe GBM de l'IMT, A.BOUKAMEL et M.CHEZEAUX ont effectué une étude numérique comparative des états de contraintes au niveau de la cavité cotyloïde d'un os iliaque avec ou sans prothèse.

Situation et perspective de la recherche dans les domaines national, européen et international

Pour l'OR 053

Au niveau national

L'appartenance de l'équipe aux GRECO "Grandes déformations et endommagement" (jusqu'en fin 87) et "Calcul des Structures" (pour toute la période 87-90) a naturellement conduit l'équipe à mener de nombreuses collaborations sur les thèmes de travail de ces groupements de recherche. Citons, entre autres, nos collaborations avec :

- la division MNM de l'UTC (co-direction de la thèse de M.EL MOUATTASSIM, opération de transfert 'SIC-Mise en Forme',...),
- le Laboratoire de Mécanique des Solides (Poitiers) à l'occasion de la partie 'numérique' de la thèse de T.DESOYER (soutenue fin 87 à Poitiers),
- le Laboratoire de Mécanique des Structures (Nantes),
- le LMGMCM (Montpellier) sur l'homogénéisation,
- les groupes industriels Aérospatiale, Renault, Péchiney, CISI-Ingénierie,... (quatre thèses),
- le CEMAGREF,
- ...

On peut considérer aujourd'hui que l'équipe est pleinement reconnue au niveau national, la preuve en étant le projet (lancé fin 90) de création d'un 'Institut de Modélisation en Ingénierie' dans lequel nous avons un rôle majeur. Une des limites actuelles de l'équipe, surtout pour l'OR 053, est constituée par sa faiblesse numérique en personnel permanent (en particulier CNRS), faiblesse qui se traduit par un défaut de continuité temporelle en thématique ; le recrutement d'un CR2 en Mécanique des

Solides permettrait de mieux assurer cette continuité ainsi qu'une plus forte cohérence de l'équipe.

Par ailleurs, et afin de maîtriser la croissance de l'équipe, il serait sans doute très souhaitable de lancer une nouvelle OR sur le thème 'Elastomère-métal', menée en étroite collaboration avec l'Aérospatiale, et sur laquelle travailleraient A.BOUKAMEL et deux étudiants en thèse (F.JAZZAR, déjà en place, et un boursier CIFRE dont le recrutement est en cours côté Aérospatiale). On notera que ce thème fera aussi l'objet, au cours des années 91-94, d'une collaboration avec l'IMFL (Lille) pour la partie expérimentale et la société belge SAMTECH (Liège) pour la partie transfert de connaissances.

Aux niveaux européen et international

Outre l'action citée juste ci-avant et qui se concrétisera à partir de 91, nous avons des collaborations informelles mais continues avec Liège (LTAS, Laboratoire de Génie Civil) et Mons (Institut de Génie Civil) et qui se sont traduites par des séminaires croisés sur des domaines aussi bien scientifiques que techniques.

En plus d'activités régulières d'enseignement depuis 87 (de Master à Québec, de DEA à Tunis), nos collaborations sont restées à un niveau assez informel ; on notera quand même la venue d'un stagiaire tunisien (niveau DEA) pour huit mois à compter de septembre 90.

Notre lacune dans ces domaines européen et international a sa contrepartie dans notre très important effort au niveau national.

Pour l'OR 37

L'opération de recherche menée à ses débuts par V.MARTIN au Laboratoire de mécanique et d'Acoustique à Marseille et développée aujourd'hui à l'Institut Méditerranéen de Technologie de la même ville, est forte de la collaboration suivie avec B.PESEUX à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes et devrait profiter de la présence de J.P.Quévat à l'IMT. Nos travaux complémentaires donnent de l'ampleur à l'OR37 comme on le vérifie dans les projets du futur immédiat.

Sur le plan national, une action est entamée en 91 avec l'Aérospatiale Marignane sur les vibrations des réservoirs d'hélicoptères. L'intervention

partirait du comportement élastique aussi bien pour la structure que pour le fluide qui la remplit pour envisager ensuite un comportement non-linéaire en grands déplacements de la structure et ultérieurement du fluide incompressible. Notons aussi que des contacts ont été pris auprès de la DRET, qui dépassent les déclarations d'intentions, pour approfondir certains points restés en suspens dans le domaine vibro-acoustique linéaire harmonique.

Au sein du programme européen ASANCA (advanced study for active noise control in aircrafts) nous effectuons une synthèse avec nos avancées dans le domaine du couplage fluide/structure et nos travaux anciens sur la simulation de l'absorption acoustique active. Saura-t-on établir une relation d'ordre dans les positions des sources secondaires à l'intérieur d'une cabine d'avion, fondée sur l'atténuation qu'elles procurent? Bien sûr le préalable est la modélisation des avions que nous avons en charge (ATR42, FOKKER100).

Le programme DRET déjà cité possède sa partie internationale avec une synthèse sur l'état de l'art en couplage acoustique/structure à effectuer à partir du Congrès organisé par l'ASME à Atlanta (USA).

Publications

Publications dans des revues spécialisées à comité de lecture

O.DEBORDES, T.DESOYER et A.DRAGON, "Numerical and experimental study of a form of damage in plasticity", Archives of Mechanics, Vol 40, n° 4-5, pp. 581-594, 1988.

O.DEBORDES et A.MORANDO, "Etude numérique d'un problème de collerette d'emboutissage présentant des instabilités par bandes de cisaillement", J. Méca. Th. et Appl., Vol 7, pp. 409-441, 1988.

V.MARTIN, "Couplage fluide-structure dispersion des ondes fluides guidées", C.R.A.S. t 306, Série II, 1-4, 1988.

V.MARTIN, "Numerical modelling of direct and inverse Helmholtz problems in a multimode waveguide, application to the simulation of the active absorption of a wave", European J. Mechanics, B/Fluids, 8(2), 117-141, 1989.

O.DEBORDES et A.MORANDO,, un chapitre (20 pages) dans 'Physique et mécanique de la mise en forme des matériaux', Presses du CNRS, 1990.

O.DEBORDES et C.WIELGOSZ, "Informations numériques exactes ou quasi-exactes pour le laplacien à deux dimensions", Journal Européen de Mécanique A, 9, n° 5, 1990.

I.VALENTIN, A.TAIEB, L.BENHAÏM, J.C.FRANQUIN et A.HOURI, "Analyse de la répartition des contraintes os-implant modélisation plane par éléments finis", Les cahiers de prothèse, n° 72, 1990.

V.MARTIN, "Perturbation of fluid guided waves induced by bending plates", J.of Sound & Vibration, 144(2),331-353, 1991.

Publications de conférences à des colloques avec actes

O.DEBORDES, R.PENELLE, F.PERCHET et C.PEYRAC, "Influence of induced anisotropy on plastic modelling of an aluminium sheet", SMiRT 9, Lausanne, 1987, publié par Balkema (Rotterdam).

V.MARTIN, "Interaction between dilatational and flexural waves in a fluid-filled duct with yielding walls", 5th International Madal Analysis Conference, Londres, 1987.

J.P.QUEVAT, M.A.HAMDI, V.MARTIN, "Fréquences parasites pour les vibrations de systèmes couplés", Journées Calcul des Structures et Intelligence Artificielle, Vol.1, Ed. Pluralis, 1987.

J.M.BESSON, O.DEBORDES et M.JAEGER, "Homogénéisation de composites à base de tissus de fibres", Composites-88, Nice, Juin 1988, publié dans 'Composite Structures', Ed. A. Niku-Lari.

O.DEBORDES, M.GRIFFITHS et H.ETTALEB, "SEMCOO An expert system for composites", Composites-88, Nice, Juin 1988, publié dans 'Composite Structures', Ed. A. Niku-Lari.

V.MARTIN, "The behavior of the walls of a duct relative to a guided acoustic wave", Internoise, Avignon, 1988.

V.MARTIN, "Dispersion of compressional guided waves when coupled with flexural waves along the walls of a duct", 6th International Madal Analysis Conference, Kissemmee-Florida, USA, 1988.

A. BOUKAMEL, "Modélisation du comportement d'un stratifié caoutchouc-acier en grandes déformations hyperélastiques et validation expérimentales", 2^{ème} Coll. Maghrébin Méth. Num. Ing., Rabat, 1989.

O.DEBORDES, B.JANNIN, H.JAFFAL et JC.MICHEL "Une méthode numérique de résolution d'un problème d'homogénéisation viscoplastique tridimensionnel", Proc Ve Cong. Int. Méth. Num. Ing., Vol 1, p 297-304, Computational Mechanics Publications, Springer-Verlag, 1989.

H.JAFFAL, "Mise en forme d'un composite à comportement élasto-visco-plastique via la théorie de l'homogénéisation", 2^{ème} Coll. Maghrébin Méth. Num. Ing., Rabat, 1989.

V.MARTIN, B.PESEUX, J.P.QUEVAT, "Couplage fluide-structure-fluide ondes stationnaires dans une cavité aux parois vibrantes, plongée dans un fluide", 9^{ème} Congrès Français de Mécanique, Metz, 1989.

S.BONELLI, O.DEBORDES et JC.MICHEL, "Eléments finis sur machines à transputers, analyse des performances en élastoplasticité", communication au congrès STRUCOME, Novembre 1990.

O.DEBORDES, F.GOLAY, D.GUEDRA et X.POUILLOT, "Modélisation thermo-chimique par éléments finis de la polymérisation d'un composite Carbone/Epoxy", communication au congrès STRUCOME, Novembre 1990.

O.DEBORDES et JC.MICHEL, "Parallélisation de problèmes non-linéaires", 3^{ème} colloque de "Calcul des Structures et Intelligence Artificielle", Giens, 1990.

O.DEBORDES et C.WIELGOSZ, "Refined mixed element for the Poisson equation in two dimensions", communication au Congrès Polonais de Mécanique des Solides, Septembre 1990.

V.MARTIN, "Propagation d'une onde harmonique linéaire en milieu fluide stratifié, solution élémentaire", 1^{er} Congrès Français d'Acoustique, Lyon, 1990.

O.DEBORDES et J.C.MICHEL, "Some results on a transputer system for finite element non linear problems", communication acceptée à la Conférence Européenne sur les 'Nouvelles avancées en Calcul des Structures', Giens, avril 1991.

O.DEBORDES, S.QUILICI et F.de MAGISTRIS, "Système expert pour le pré-dimensionnement de structures composites la prise en compte de

critères mécaniques", communication acceptée à la Conférence Européenne sur les 'Nouvelles avancées en Calcul des Structures", Giens, avril 1991.

Publications de conférences à des colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

O.DEBORDES, M.EL MOUATASSIM et G.TOUZOT, "Local numerical integration of large strain elastic-plastic constitutive laws", 2nd Int. Conf. on Constitutive Laws for Engng. Mat.", Tucson, 1987.

I.VALENTIN, "Modélisation plane d'implants dentaires", AFNOR, Comité d'étude n° 9 sur les Implants dentaires, 1989.

Rapports, thèse

H.JAFFAL, "Etude numérique, via l'homogénéisation, du comportement élasto-viscoplastique d'un composite à matrice métallique et à fibres courtes. Une application à la mise en forme.", Thèse, Université d'Aix-Marseille II, 1989.

V.MARTIN, B.PESEUX, "Problèmes de propagation/vibration linéaires harmoniques, application au couplage de propagations d'ondes mécaniques et conséquences logicielles", Rapport Greco "Calcul des Structures et Intelligence Artificielle", 1989.

O.DEBORDES, V.MARTIN, "Descriptif d'une approche en élastoplasticité dynamique et étude bibliographique", Rapport MRT, 1990.

V.MARTIN, B.PESEUX, "Outline of planned calculations in ASANCA and state of work", Intermediate Reports, December 90.

***H. GROUPE D'ETUDES PLURIDISCIPLINAIRES EN
IMPLANTOLOGIE***

Groupe d'Etudes Pluridisciplinaires en Implantologie

Responsable : W.BISMUTH

Orientation générale

L'activité de cette équipe s'est orientée vers une recherche originale par sa disciplinarité définir et évaluer les risques d'échecs en orthopédie chirurgicale en particulier en implantologie dentaire. Ceci afin de proposer de nouveaux critères à respecter en fonction des résultats **thermiques** et **mécaniques**, et d'apporter des améliorations précises dans ce créneau très important*.

Bio thermie

Les nécroses thermiques de l'os provoquées par les instruments de forage nous ont conduit à l'étude du comportement thermique de l'os par imagerie infra rouge. Nous avons utilisé pour cela une caméra infra rouge type AGA 780 SW (précision 1/10e de degré) dont les clichés sont mémorisés sur un micro ordinateur de type PC AT permettant un stockage de 300 images sous une vitesse réglable d'enregistrement pouvant aller jusqu'à 6 images par seconde. Ce travail a fait l'objet d'une publication**.

Bio fonctionnalité

Cette recherche avait pour but de déterminer la nature des contraintes et des déformations induites dans une mandibule humaine par l'utilisation d'implants endo-osseux en utilisant la méthode des éléments finis sur le logiciel MEF Mosaic (Compagnie Sciences Industrie). Cette analyse de la répartition des contraintes os-implant ont fait ainsi l'objet d'une publication**.

Ces travaux sont en train de se poursuivre par une investigation, volumétrique expérimentale par capteur thermique et théorique par résolution numérique de "l'Equation de la Chaleur" appliquée à ce

phénomène. Ces résultats seront comparés à ceux donnés par téléthermométrie infra rouge.

Des travaux sur la Biocompatibilité sont réalisés avec d'autres laboratoires :

- Laboratoire de Métallurgie de la Faculté des Sciences de St-Jérôme (B. Aufray)
- Faculté d'Odontologie (Dr J.C. Franquin)
- INSERM Faculté de Pharmacie (Dr R. Rahmani)

Les recherches qui se poursuivent tendent à la mise au point d'un système implantaire avec une certaine garantie **mécanique, thermique et physico-chimique** résultant de nos conclusions.

Equipe

CNRS - LMA : J.C.Aveni
W.Bismuth
B.Scandellari

LMA - IMT : O.Desbordes
I.Valentin
J.C.Chezeaux

GRIM : Dr.L.Ben Haïm

CNRS : Dr.A.Taïeb

Laboratoire de Biologie. Faculté d'Odontologie de Marseille Dr J.C.Franquin

* Méthode de Mesure par téléthermométrie infra rouge des élévations de température en Implantologie. Information Dentaire n° 24 du 15 juin 1989.

** Analyse de la répartition des contraintes os implant. Les cahiers de prothèse n° 72, décembre 1990.

Contrat d'aide à l'innovation de MRT.

Objet : Etude thermodynamique et biomécanique des systèmes
odontologiques implantables ; innovation d'un nouvel implant.

***I. D.E.A. D'ACOUSTIQUE ET DYNAMIQUE DES
VIBRATIONS***

D.E.A D'Acoustique et Dynamique des Vibrations

Responsable : Paul FILIPPI

C'est en 1985 que le D.E.A. d'Acoustique et Dynamique des Vibrations nous a été confié ; notre nomination officielle comme responsable est intervenue dès la rentrée 1986. Nos efforts ont porté sur une ouverture plus grande vers les autres organismes d'enseignement de la Mécanique à Marseille ; nous nous sommes de plus efforcé de confier un plus grand nombre de stagiaires aux laboratoires de recherche publics et industriels de la région.

1 Evolution du D.E.A. depuis 1985

Cet enseignement, qui est à la charge du L.M.A. depuis une vingtaine d'années, a formé des étudiants qui, dans l'ensemble, n'ont pas rencontré de grandes difficultés pour trouver un emploi. A l'heure actuelle, eu égard à l'intérêt croissant pour l'acoustique et les vibrations manifesté par l'industrie, le nombre d'étudiants que nous formons est inférieur au nombre d'emplois qui nous sont proposés.

Au cours des quatre dernières années, le nombre d'étudiants a fortement augmenté (9 en 1986-1987 ; 19 en 1987-1988, dont 3 auditeurs libres ; 15 en 1988-1989 ; 21 en 1989-1990 ; 19 en 1990-1991). Quelques étudiants salariés ont été envoyés par leurs entreprises soit pour préparer le diplôme, soit à titre d'auditeurs libres.

Depuis l'année universitaire 1986-1987, le D.E.A. d'Acoustique et Dynamique des Vibrations est associé au D.E.A. de Mécanique des Fluides au travers de trois modules dispensés par des enseignants des deux formations : un module de tronc commun "Outil Mathématique" ; et deux modules d'options "Bruits des écoulements" et "Rayonnement des structures vibrantes". De plus, trois membres de la formation d'Acoustique et Dynamique des Vibrations enseignent un module d'option "Acoustique et Vibrations" au D.E.A. de Mécanique des Fluides.

Depuis l'année 1987-1988, il a été créé une option "Acoustique et Génie Marin" qui accueille des élèves de l'axe "Génie Marin" de l'E.S.I.M.-I.M.T. En 1988-1989, une option "Vibrations-Matériaux-Structures" accueille des élèves de l'E.S.I.M.-I.M.T. et de l'E.N.S.A.M.

Au niveau des stages, un nombre plus important de laboratoires et de sociétés industrielles accueillent les étudiants. Citons, pour le secteur de la recherche publique, les Instituts de Mécanique des Fluides de Marseille et de Mécanique et Statistique de la Turbulence, le G.E.R.D.S.M.. Pour le secteur industriel, nous pouvons citer le C.E.A. de Cadarache, Ifremer, l'Aérospatiale à Marignane, Renault dans la région parisienne, ainsi que diverses entreprises de moindre importance dans la région.

Il faut noter que la région Sud-Est comprend un grand nombre d'entreprises qui travaillent dans le domaine de l'acoustique sous-marine. Aussi nombre de nos étudiants trouvent-ils de l'emploi assez facilement sur place, et souvent même durant la préparation de leur thèse.

2 Nouvelle habilitation du D.E.A.

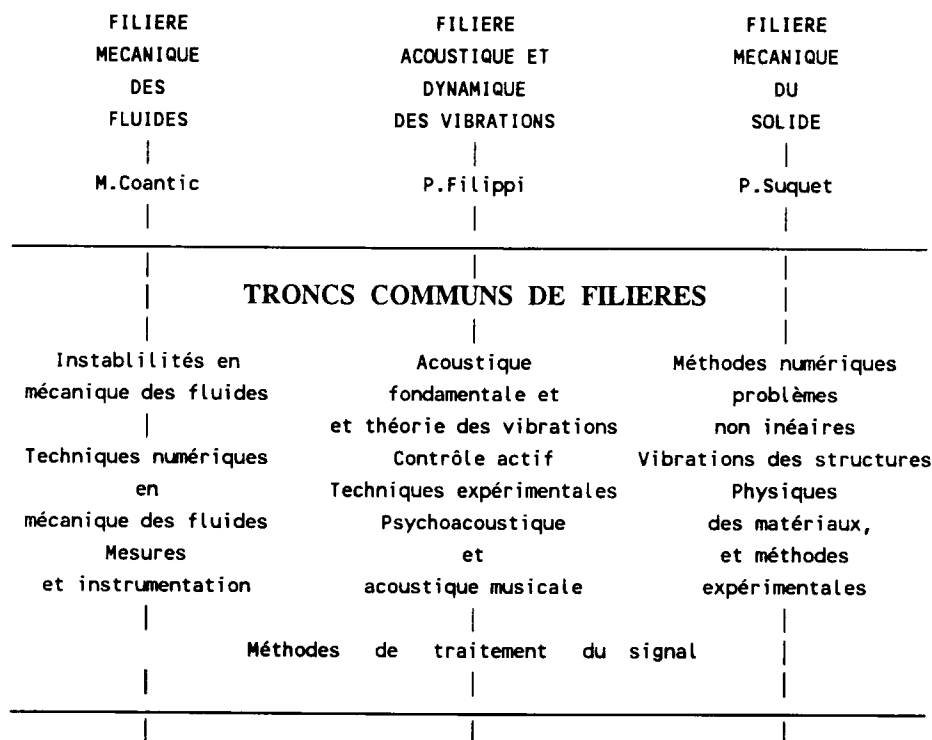
La formation doctorale "Acoustique et Dynamique des Vibrations" est habilitée jusqu'en 1990-1991, et une nouvelle demande d'habilitation devait être faite. Depuis 1986, nous nous efforçons de développer échanges et collaborations avec les enseignements que dispensent l'I.M.F.M. et l'I.M.S.T. ; nous avons, en cela, bénéficié de l'accueil et de la participation très efficaces de MM. Péliissier et Coantic, responsables de ces enseignements, qui partageaient avec nous le souci d'un regroupement aussi grand que possible des enseignements de Mécanique. Après avoir demandé, en 1989-1990, le rattachement de la formation doctorale à l'Institut de Mécanique de Marseille (IM2), il nous a paru naturel d'envisager la création d'un D.E.A. unique de Mécanique. L'intérêt d'un tel projet est évident : meilleure efficacité de l'enseignement, meilleure interpénétration des activités de recherche. Le projet qui a été mis sur pied comprend un tronc commun qui représente environ un tiers de l'enseignement, et trois filières : Mécanique des Fluides, Acoustique et Dynamique des Vibrations, Mécanique du Solide. Les solutions temporaires que nous avons adoptées (ouverture d'options en aéro- et hydro-acoustique, et, surtout, en vibrations-matériaux-structures) apparaîtront dorénavant dans une structure d'enseignement plus cohérente. Un dernier avantage de cette nouvelle formule est qu'elle s'articule bien avec la filière "Acoustique et Vibrations Industrielles" de l'Ecole Supérieure de Mécanique de Marseille..

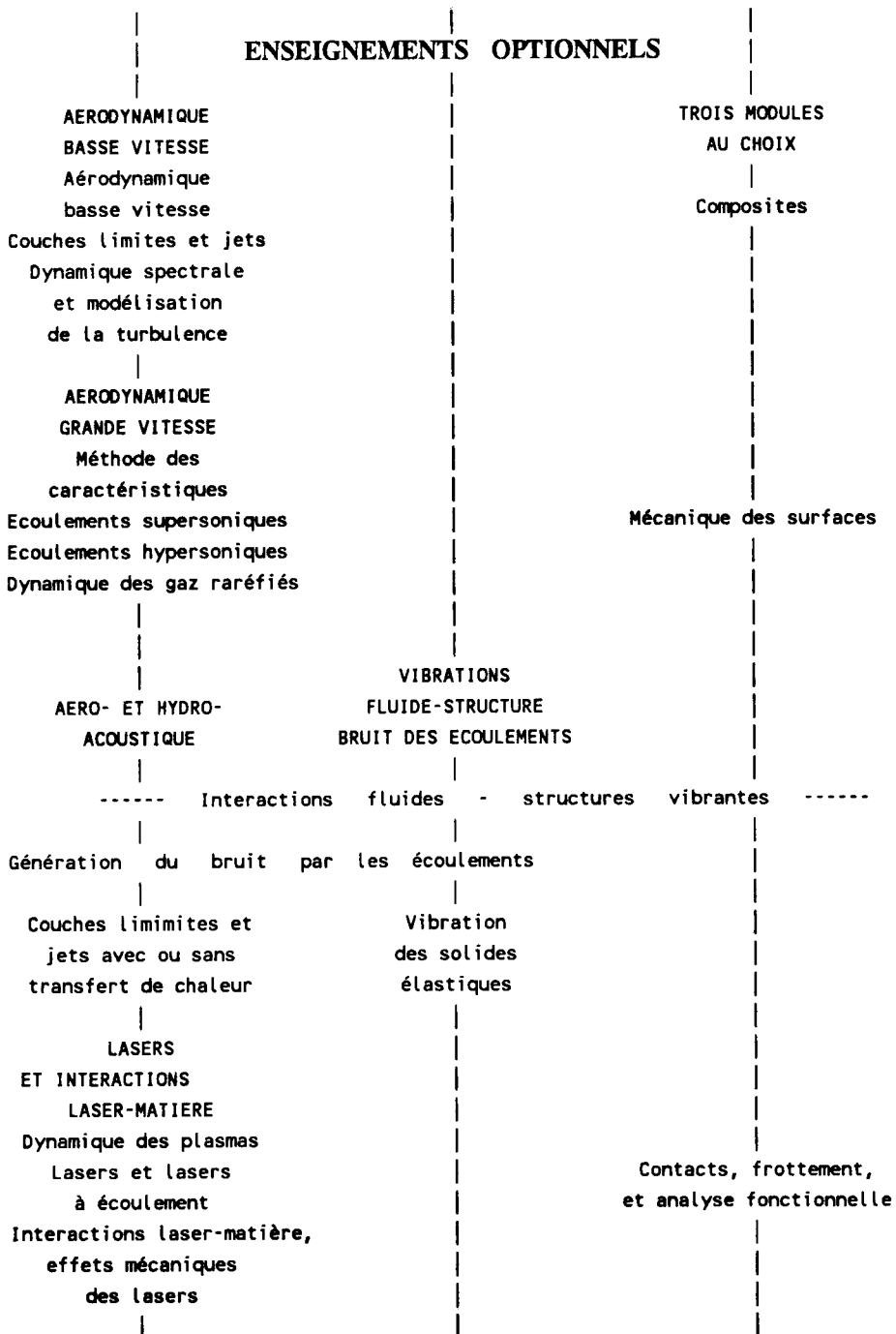
ORGANIGRAMME DU D.E.A. DE MECANIQUE

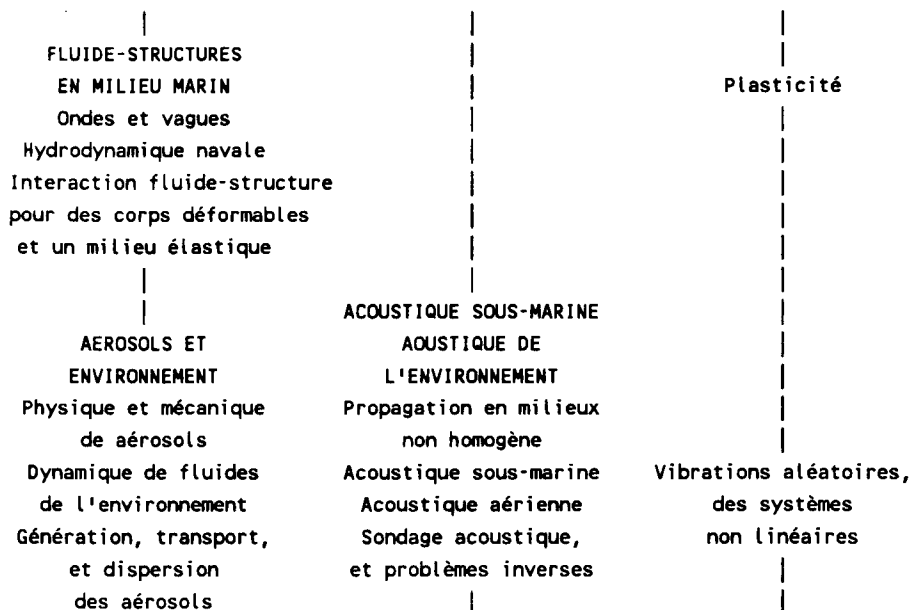
Responsable : R.Pélissier

COURS DE TRONC COMMUN DU DEA

Equations générales des transferts dans les fluides
Equations de propagation des ondes
Lois de comportement des solides
Méthodes mathématiques de la mécanique
Méthodes numériques en mécanique
Méthodes modernes de documentation







STAGES DE DEA

Laboratoires de Recherche
Organismes de Recherche
Milieu industriel

J. CENTRE DE CALCUL

Equipe Archimède (ARCHI)

Responsable : M.CULIOLI

Activité du Centre de Calcul

L'acquisition en 1988 d'un VAX 6210 cofinancé par le S.P.I. et la Région P.A.C.A a amorcé une évolution rapide du Centre de Calcul :

- ouverture sur l'extérieur par la participation au réseau E.A.R.N. (demandé depuis longtemps par les chercheurs du Laboratoire) en complément de TRANSPAC
- amorce du réseau local sur le bâtiment principal du L.M.A. mise en commun des ressources du VAX et du Microvax II de l'équipe M.M.N. (Disques, Imprimante, Systeme) ; les autres bâtiments restant encore reliés au centre par des modems.

En 1989 , dans le cadre de la Route des Hautes Technologies , le G.L.M. obtient un financement de la Région P.A.C.A. pour la réalisation d'un réseau local sur le campus. Le L.M.A. en a assuré la maîtrise d'oeuvre et a opté pour un réseau à base d'étoile optique à cinq branche.

Cette réalisation terminée en fin 1990 a permis de relier les bâtiments éloignés du Laboratoire.

L'équipe informatique a alors pu développer le réseau du L.M.A. :

- Câblage en coaxial de trois des branches de l'étoile .
- Installation sur le réseau des ordinateurs d'équipes :
 - Micovax II ,
 - Sun pour l'équipe U.S.,
 - Apollo ,
 - HP9000/300 pour l'équipe A.3.,
 - Sun pour l'équipe I.M.
- Mise en place de serveurs multi-protocoles (LAT , TCP/IP)
- Intégration au réseau des P.C. , le VAX du Centre de Calcul étant serveur de disques, messagerie et imprimante .

- Achat et installation du logiciel passerelle DECNET-TCP/IP permettant aux machines sous système Unix (Apollo, Sun, H.P.) et VMS (Vax, Microvax, Workstations DEC) de dialoguer entre elles par les fonctions TELNET (Terminal virtuel) et FTP (transfert de fichiers)
- Achat et mise en place d 'un logiciel graphique installé sur la plupart des machines du réseau ainsi q'un traceur couleur haute résolution utilisable par le logiciel pré-cité à travers le réseau.

En 1990, le Groupe de Laboratoire de Marseille devient site de préfiguration du Réseau Régional R3T2 (Réseau de Télécommunications de la Recherche et de la Technologie) ; le L.M.A. a reçu mission d'en effectuer la connection avec le réseau local du G.L.M. et a participé à la phase de test.

La connection effective et permanente à R3T2 réalisée debut 1991 a soulevé des problèmes que nous devons résoudre dans l'année à venir en installant, en particulier, des outils de filtrage du trafic.

En conclusion, les quatres dernières années ont vu une évolution rapide de l'informatique au L.M.A. L'installation du réseau en a été le point principal en permettant le developpement d'une informatique répartie (Multiplication des Stations et des P.C.), chaque élément pouvant bénéficier des ressources de l'ensemble (Disque, Système, Imprimante, Traceur, dérouleur de Bandes, etc...).

Le réseau R3T2 est encore expérimental et les années à venir verront sans doute la pleine exploitation de ses possibilités actuelles ainsi que, nous l'espérons, son évolution vers une distribution de services plus nombreux (EARN, TRANSPAC et autres) pour faire en sorte qu'une seule ouverture sur l'extérieur réponde à tous nos besoins de communication.

Quant au réseau local du L.M.A., il conviendra en fonction de l'évolution des logiciels, d'améliorer la distribution des ressources vers chaque machine du réseau.

Aide aux équipes du Laboratoire

Assistance à l'équipe M.E.S.H. dans le choix et la mise en oeuvre d'un logiciel et une chaîne d'acquisition pour le pilotage du Scanner X

Assistance dans la réalisation de mesures Infra-Rouges et thermiques pour des travaux destinés à l'implantologie dentaire .

Aide apportée par Jean Brunel

- Equipe MATEP

Etude et réalisation d'un séparateur d'impulsions pour la mesure des propriétés dynamiques des solides viscoélastiques par le procédé d'impulsion.

Réalisation d'un dérivateur-amplificateur destiné à l'utilisation de capteurs de déplacement linéarisés dans la gamme 20-50 KHz.

- Equipe DS

Mesure et étalonnage d'une table sismique hydraulique de forte puissance .
Etude des dispositifs du type GAPEC et DASH-POT pour le séisme expérimental d' excitation EL CENTRO.

- Equipe MATER

Dépannage de la chaîne d'acquisition CAN du Scanner RX.

Dépannage et remise en état du contrôle de la haute tension du Scanner et étalonnage de l'affichage des points haute tension.

Etude des compteurs d'adressage mémoire du Scanner dans le cadre d'un projet d'évolution de l'analyse d'image.

- Equipe US

Dépannage d'appareils de mesure d'analyse du signal.

Analyseur de spectres "SINGER Comp" 1965

Analyseurs DIDAC 400 et 800 "Intertechnique" 1975.

Analyseur de spectres "PIMONO" à lampes 1950.

Enseignement

D.U.I.I. à la Faculté de Saint Jérôme

- Cours d'électronique numérique,
- Travaux dirigés d'interface,
- Travaux pratiques d'électronique numérique,
- Cours d'assembleur,

- Travaux dirigés et travaux pratiques d'assembleur et système d'exploitation,
- Encadrement d'étudiants en mini-projets ou stages.

D.E.A.

- Cours de langage FORTRAN,
- Encadrement de T.P. de programmation dans le DEA du Laboratoire de Mécanique et Acoustique.

Stages

- J.C.Aveni Stage chez Digital Equipment "Maîtrise niveau 1 VMS"
- M.Culioli stage chez Digital Equipment "Optimisation des systèmes d'exploitation"
- J.Brunel Participation au "séminaire de Logique Avancée" organisé par National Semi-conducteurs, 7 mars 1990 à Aix en Provence .

Publications

Notes ou rapports internes

J.BRUNEL Rapport sur la possibilité d'utiliser la table vibrante. Description et état du matériel nécessaire à son fonctionnement . Note-Laboratoire de Mécanique et Acoustique N° 1483-1919, 1988.

J.BRUNEL Convertisseurs analogiques digitaux multiplexés pou chaîne d'acquisitions dans le domaine de l'absorption acoustique active. Note-Laboratoire de mécanique et Acoustique N°4, 1987.

J.BRUNEL Etude de l'asservissement d'une table sismique commandée par servomécanisme hydraulique de forte puissance. Note-Laboratoire de Mécanique et Acoustique N° 8, 1988.

J.BRUNEL Rapport sur l'étude d'un séparateur d'impulsion conçu et réalisé pour la mesure de l'amortissement interne par propagation d'une onde transitoire de contrainte. Note-Laboratoire de Mécanique et Acoustique N° 9, 1990.

***III. LISTE DES PUBLICATIONS PARUES AU
COURS DES ANNEES 1987 A 1990***

III.1 Publications dans des revues spécialisées à Comité de Lecture

Année 1987.

- [2276] J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, C.GAZANHES. Diffusion acoustique par des sphères élastiques. (Texte présenté aux 7èmes Journées d'Etudes sur la Propagation Acoustique - E.C.L.- Juin 1986). *Acustica*, 1987, 64, pp.206-210.
- [2277] J.L.GARNIER, C.GAZANHES. Focalisation des signaux transmis par modes dans un guide acoustique. (Texte présenté aux 7èmes Journées d'Etudes sur la Propagation Acoustique - E.C.L.- Juin 1986). *Traitement du Signal*, 1987, 4 (4), pp.335-339.
- [2278] G.SALVINI, A.CALAORA, C.GAZANHES. Imagerie en temps réel par traitement d'antenne hybride. (Texte présenté aux 7èmes Journées d'Etudes sur la Propagation Acoustique - E.C.L.- Juin 1986). *Traitement du signal*, 1987, 4 (4), pp.329-334.
- [2353] H.J.LATIERE, F.MAZEROLLE. The X-Ray scanner. A tool for the examination of the intravoluminal crystalline state of aluminium. *Engineering Fracture Mechanics*, 1987, 27 (4), pp.413-463..
- [2363] F.SANTON. Détection d'un son pur dans un bruit masquant suivant l'angle d'incidence du bruit. Relation avec le seuil de réception de la parole. *Acustica*, 1987, 63 (3), pp.222-228.
- [2364] M.MIANE, A.M'HIRSI, H.SAUL, C.GAZANHES. Etude expérimentale de la dispersion de vitesse dans une structure périodique (Troisième partie). *Acustica*, 1987, 63 (3), pp.232-237.
- [2365] R.BOUC, D.FELIX A real-time procedure for acoustic-turbulence filtering ducts. *J. Sound & Vib.*, 1987, 118 (1), pp.1-10.
- [2366] R.BOUC, M.DEFILIPPI. A Galerkin multiharmonic procedure for non linear multidimensional random vibration. *Int. J. Engng Sci.*, 1987, 25 (6), pp.723-733.
- [2367] J.C.MICHEL, Q.S.NGUYEN. Endommagement, fatigue, rupture. Solutions asymptotiques avec discontinuité forte en plasticité parfaite et en rupture ductile. *C. R Acad. Sci.*, 1987, t.304, série II, n°17, pp. 1029-1033.
- [2368] J.G.SLAMA. Angular expression for the Rayleigh quotient. *J. Sound & Vib.*, 1987, 113 (1), pp.215-216.
- [2370] S.RAYNAUD, F.MAZEROLLE, D.FABRE, H.J.LATIERE. Analyse de la structure interne d'un échantillon de roche à l'aide d'une méthode non destructive : la tomodensitométrie (scanner). Perspectives pour le suivi de la genèse expérimentale des failles. *C. R. Acad. Sci.*, 1987, t.305, série II, n°8, pp.707-710.

- [2371] J.J.MARIGO, P.MIALON, J.C.MICHEL, P.SUQUET. Plasticité et homogénéisation : un exemple de prévision des charges limites d'une structure périodiquement hétérogène. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1987, 6, pp.47-75.
- [2374] S.MAZZANTI, J.PIRAUX. Absorption acoustique active dans l'espace : traitement des bruits large bande. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1987, Special issue, suppl. to vol.6, pp.125-136.
- [2375] J.C.RISSET. About James Tenney, composer, performer and theorist. (Avec extrait sonore publié sur cassette accompagnant la revue). *Perspectives of New Music*, 1987, 25 (1/2), pp.549-561.
- [2379] J.C.RISSET. Essays on the 1986 I.C.M.C. : timbre synthesis and sound processing. *Computer Music Journal*, 1987, 11 (2), pp.45-48.
- [2380] J.C.RISSET. SUD : une musique numérique hybride et "naturaliste". *Bulletin du CPRIM*, 1987, 2, pp.6-9.
- [2381] D.ARFIB. MUSIC V. La synthèse directe des sons par le langage. *Bulletin du CPRIM*, 1987, 2, pp.10-14.
- [2383] B.NAYROLES. Functional monotony and diagonal control in synchronous vibration absorption. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1987, Special issue, Suppl. to vol.6, pp.23-38.
- [2384] A.ROURE. Editorial du *J.M.T.A.* "Colloque EUROMECH". Special issue, Suppl. to vol.6.
- [2385] C.CARME. Réduction active du bruit dans les cavités auditives. Méthodes et algorithmes de calcul. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1987, Special issue, Suppl. to vol.6, pp.137-160.
- [2398] D.MORVAN, F.CASSOT, R.PELISSIER. Simulation numérique de l'écoulement intraventriculaire par une méthode particulière. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1987, 6 (4), pp.489-509.
- [2399] D.FARAHIFAR, H.BODARD, F.CASSOT, R.PELISSIER. Velocity field of a Björk-Shiley valve prosthesis : influence of the disc orientation. *Cardiovascular Research*, 1987, 21, pp.90-98.
- [2428] B.SCHARF, S.QUIGLEY, C.AOKI, N.PEACHEY, A.REEVES. Auditory attention and frequency selectivity. *Perception & Psychophysics*, 1987, 42, pp.215-223.
- [2429] R.HELLMAN, B.SCHARF, M.TEGHTSOONIAN, R.TEGHTSOONIAN. On the relation between the growth of loudness and the discrimination of intensity for pure tones. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1987, 82, pp.448-453.
- [2434] G. GEYMONAT, P.LEYLAND. Transport and propagation of a perturbation of a flow of a compressible fluid in a bounded region. *Archives of Rational Mechanics*, 1987, 100, n°1.
- [2435] F.ANGRAND, P.LEYLAND. Schéma multigrille dynamique pour la simulation d'écoulements de fluides visqueux compressibles. *Rapports de Recherche INRIA*, 1987, n°659.

Année 1988.

- [2430] O.DEBORDES, T.DESOYER, A.DRAGON. Numerical and experimental study of a form of damage in plasticity. *Archives of Mechanics*. 1988, 40 (4-5), pp.581-594.
- [2437] P.FILIPPI, D.HABAULT, J.PIRAUX. Noise sources modeling and intensimetry using antenna measurement and identification procesures. *J. Sound & Vib.*, 1988, 124 (2), pp.285-296.
- [2438] P.FILIPPI. Acoustique de l'environnement. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, 71, p.51.
- [2440] G.SARACCO. Transmission acoustique à travers le dioptré air-eau. (JESPA, Bordeaux, 1988). *J. Acoustique*, 1988, 1 (1-2), pp.71-80.
- [2441] L.BRIZE-TRAMONI, J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI. Etude de la diffusion acoustique par des coques sphériques à parois minces. (JESPA, Bordeaux, 1988). *J. Acoustique*, 1988, 1 (1-2), pp.177-184.
- [2442] M.ZAKHARIA, P.FLANDRIN, J.SAGELOLI, J.P.SESSAREGO. Analyse temps-fréquence appliquée à la caractérisation acoustique de cibles. (JESPA, Bordeaux, 1988). *J. Acoustique*, 1988, 1 (1-2), pp.185-188.
- [2443] J.L.ROUSSELOT, A.GERARD, J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI. Réponse basse fréquence d'une coque sphérique mince immergée. *Acustica*, 1988, 66 (4), pp.203-213.
- [2444] J.BLAUERT, G.CANEVET, W.GAIK, C.POSSELT, B.SCHARF. Expériences de compensation sur des signaux enregistrés à l'aide d'une tête artificielle. *Acustica*, 1988, 67 (2), pp.127-134.
- [2445] F.SANTON. Mesures d'intelligibilité portant sur des consonnes synthétiques en présence de bruit. *Acustica*, 1988, 67 (2), pp.156-160.
- [2446] B.LUNDBERG, R.H.BLANC. Determination of mechanical material properties from the two-point response of an impacted linearly viscoelastic rod specimen. *J. Sound & Vib.*, 1988, 126 (1), pp.97-108.
- [2447] R.H.BLANC. The viscoelastic constitutive differential operator law in terms of the relaxation and retardation spectra. *Rheologica Acta*, 1988, 27 (5), pp.482-486.
- [2460] A.MORANDO, O.DEBORDES. Etude numérique d'un problème de collerette d'emboutissage présentant des instabilités par bandes de cisaillement. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1988, 7, pp.409-441.
- [2463] V.MARTIN. Couplage fluide-structure dispersion des ondes fluides guidées. *C. R. Acad. Sci.*, 1988, t.306, série II, pp.1-4.
- [2467] J.P.LEFEBVRE. La tomographie ultrasonore en réflexion. (JESPA, Bordeaux, 1988). *J. Acoustique*, 1988, 1 (1-2), pp.123-128.
- [2468] C.CARME. Absorption acoustique active dans les cavités auditives. *Acustica*, 1988, 66 (5), pp.233-246.
- [2469] S.BELLIZZI, R.BOUC, F.CAMPILLO, E.PARDOUX. Contrôle optimal semi-actif de suspension de véhicule. *Lectures Notes in Control and Information Science*, 1988, pp.689-699.

- [2475] R.KRONLAND. The use of the wavelet transform for the analysis, synthesis and processing of speech and music sounds. *Computer Music J.*, 1988, 12 (4), pp.11-20.
- [2479] J.C.RISSET. Perception, environnement, musiques. *Inharmoniques* 3, 1988, mars, pp.10-42.
- [2498] J.P.LEFEBVRE. L'essor du sondage acoustique. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, n°71, pp.39-40.
- [2499] J.P.SESSAREGO. Acoustique sous-marine. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, n°71, pp.41-42.
- [2500] G.CANEVET. Entre stimulations sonores et sensations. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, n°71, p.44.
- [2501] J.C.RISSET. Informatique musicale. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, n°71, pp.47-48.
- [2502] P.LUCET. Le silence par le bruit. *Le Courrier du C.N.R.S.*, 1988, n°71, p.50.
- [2504] M.RAOUS, P.CHABRAND, F.LEBON. Numerical methods for frictional contact problems and applications. *J. Méca. Th. & Appl.*, 1988, Special Issue, Suppl. n°1 to vol.7, pp.111-128.
- [2505] E.MAMIYA, H.S.C.MATTOS, M.RAOUS, R.SAMPAIO. Solução numérica de problemas de contato unilateral com attrito - Aplicação a uma placa apoiada sobre solo rígido. *Revista Brasileira de Ciencias Mecanicas*, 1988, 10 (1), pp.45-69.
- [2520] M.KARRAY. Etude théorique et expérimentale d'un système d'isolation sismique. *Acustica*, 1988, 66 (3), pp.133-139.
- [2525] C.LICHT, P.SUQUET. Growth of cylindrical voids in a nonlinear viscous material at arbitrary void volume fractions a simple model. *Arch. Mech.*, Warszawa, 1988, 40 (5-6), pp.741-757.

Année 1989.

- [2523] A. BENCHALA, C.GAZANHES, J.P.HERAULT. Etude de la dispersion de vitesse d'ondes ultrasonores dans un matériau composite stratifié par une technique large bande. *Acustica*, 1989, 69 (5), pp.235-240.
- [2524] P.CHABRAND, C.LICHT, O.MAISONNEUVE, M.RAOUS. Residual thermal tempering stresses. *Computers & Structures*, 1989, 31 (6), pp.1003-1012.
- [2544] V.MARTIN. Numerical modelling of direct and inverse Helmholtz problems in a multimode waveguide. Application to the simulation of the active absorption of a wave. *Eur. J. Mech., B/Fluids*, 1989, 8 (2), pp.117-141.
- [2548] J.C.FRANQUIN, A.TAIEB, L.BENHAÏM, J.C.CHEZEAUX, W.BISMUTH. Méthode de mesure par téléthermométrie infrarouge des élévations de température en implantologie. *L'Information Dentaire*, 1989, 24, pp.2083-2092.

- [2556] P.FILIPPI. Rayonnement d'une structure vibrante en fluide léger application des techniques classiques de perturbation. *J. d'Acoustique*, 1989, 2, pp.39-45.
- [2557] P.FILIPPI, D.HABAULT. Sound radiation by a baffled cylindrical shell a numerical technique based on boundary integral equations. Part 1. *J. Sound & Vib.*, 1989, 131 (1), pp.13-23.
- [2558] D.HABAULT, P.FILIPPI. Sound radiation by a baffled cylindrical shell a numerical technique based on boundary integral equations. Part 2. *J. Sound & Vib.*, 1989, 131 (1), pp.25-36.
- [2593] J.BLAUERT, G.CANEVET, Th.VOINIER. The precedence effect no evidence for an "active" release process found. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1989, 85 (6), pp.2581-2586.
- [2594] B.SCHARF. The effect of listening on hearing. *J. Acoust. Soc. Japan*, 1989, 10, pp.309-317.
- [2601] S.RAYNAUD, D.FABRE, F.MAZEROLLE, Y.GERAUD, H.J.LATIERE. Analysis of the internal structure of rocks and characterization of mechanical deformation by a non-destructive method X-ray tomodensitometry. *Tectonophysics*, 1989, 159, pp.149-159.
- [2605] F.SANTON. L'Acoustique des salles de concert. *La Recherche*, 1989, 20 (211), pp.736-742.
- [2607] M.A.KARRAY, R.BOUC. Etude dynamique d'un système d'isolation anti-sismique. *Les Annales de l'ENIT*, 1989, 3 (1), pp.43-60.
- [2608] A.CHRYSOCHOOS, O.MAISONNEUVE, G.MARTIN, A.CAUMON, J.C.CHEZEAUX. Plastic and dissipated work and stored energy. *Intern. J. Struct. Mechanics & Material Science*, 1989.
- [2609] A.CHRYSOCHOOS, A.CAUMON, J.C.CHEZEAUX. Analyse thermomécanique des lois de comportement par thermographie infrarouge. *Revue de Physique Appliquée*, 1989.
- [2610] K.HATAKEYAMA, M.JESSEL. How to apply Bayes' Theorem to acoustics ? Signal Detection Methods in Acoustics from a Bayesian point of view. *Acoustics Letters*, 1989, 12 (12), pp.207-213.
- [2611] J.KISTER, H.DOUC, A.CAGNASSO, H.J.LATIERE. Global view of coal structure by scanner X analysis. *J. de Chimie Physique*, 1989, 86 (5), pp.1169-1179.

Année 1990.

- [2615] J.P.COL, G.CANEVET. Perception auditive spatiale en écoute monaurale. *Acustica*, 1990, 71 (1), pp.50-57.
- [2616] G.CANEVET, B.SCHARF. The loudness of sounds that increase and decrease continuously in level. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1990, 88 (5), pp.2136-2142.
- [2617] B.SCHARF. The case for precocious effects of attention on auditory processing. *Behavioral and Brain Sciences*, 1990, 13, pp.252-253.

- [2627] J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, P.DEGOUL, P.FLANDRIN, M.ZAKHARIA. Analyse temps-fréquence de signaux en milieux dispersifs : application à l'étude des ondes de Lamb. *J. Acoustique*, 1990, 3 (3), pp.273-280.
- [2628] G.SARACCO, C.GAZANHES, J.SAGELOLI, J.P.SESSAREGO. Analyse temps-échelle de la diffusion acoustique par des coques sphériques élastiques en régime impulsionnel. *J.Acoustique*, 1990, 3 (4), pp.381-392.
- [2672] S.RAYNAUD, E.CARRIO, F.MAZEROLLE, H.J.LATIERE. La tomodensitométrie, un outil pour mesurer la porosité de volumes millimétriques de roche autour d'un stylolite. *C.R. Acad. Sc., Paris*, II, 310 (3), 1990, pp.271-276.
- [2673] Y.GERAUD, P.GAVIGLIO. Modification expérimentale de la texture de granites par chauffage : évolution de la porosité et de la densité en fonction de la température. *C. R. Acad. Sc.,Paris*, II, 310 (12), 1990, pp.1681-1686.
- [2674] E.CARRIO-SCHAFFHAUSER, S.RAYNAUD, H.J.LATIERE, F.MAZEROLLE. Propagation and localization of stylotites in limestones. In *Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics*, Ed. Knipe R.J. & Rutter E.H. Geological Society Special Publication, 54, 1990, pp.193-199.
- [2675] P.SUQUET. Une méthode simplifiée pour le calcul des propriétés élastiques de matériaux hétérogènes à structure périodique. *C. R. Acad. Sc. Paris*, II, 311 (7), 1990, pp.769-774.
- [2693] I.VALENTIN, A.TAIEB, L.BENHAÏM, J.C.FRANQUIN, A.HOURI. Analyse de la répartition des contraintes os-implant. Modélisation plane par éléments finis. *Les cahiers de prothèse*, N°72, Décembre 1990, pp.143-153.
- [2695] O.DEBORDES, C.WIELGOSZ. Informations numériques exactes ou quasi-exactes pour le Laplacien à deux dimensions. *Eur. J. Mech., A/Solids*, 1990, 9 (5), pp.453-476.
- [2706] A.BENALLAL, P.CHABRAND, M.GHAZOUANE, et al. Validation of structural Computation Codes in Elastoviscoplasticity. *Int. J. numer. methods eng.*, 1990, 29 (5), pp.1109-1130.

III.2 Ouvrages de synthèse

Année 1987.

[2386] J.P.QUEVAT, M.A.HAMDI, V.MARTIN. Fréquences parasites pour les vibrations de systèmes couplés.

In : "Calcul des structures et intelligence artificielle". Pluralis éditeur, 1987, vol.1, chap.3, pp.183-195.

[2387] J.C.RISSET. Musica, calcolatore, ricerca.

In : "I profili del suono" (a cura di S.Tamburini, M.Bagella). Musica Verticale, éd.- Galzerano, Italia, 1987, pp.11-20.

[2395] J.P.SESSAREGO, C.GAZANHES. Calcul des réponses impulsionnelles de sphères rigides.

In : "N.GESPA.- La diffusion acoustique par des cibles élastiques de forme géométrique simple. Théories et expériences". CEDOCAR éditeur, 1987, chap.19, pp.507-517.

[2396] J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, C.GAZANHES, J.LEANDRE. Etude expérimentale des premières résonances d'une sphère élastique pleine.

In : "N.GESPA.- La diffusion acoustique par des cibles élastiques de forme géométrique simple. Théories et expériences". CEDOCAR éditeur, 1987, chap.20, pp.521-533.

[2397] J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI. Reconstruction tomographique de cibles.

In : "N.GESPA.- La diffusion acoustique par des cibles élastiques de forme géométrique simple. Théories et expériences". CEDOCAR éditeur, 1987, chap.22, pp.565-582.

[2404] M.RAOUS, J.C.LATIL. Code d'éléments finis pour des problèmes de contacts unilatéraux avec frottement formulés en termes d'inéquations variationnelles.

In : "Unilateral problems in structural analysis", 1987. Ed. G. Del Piero, C.I.S.M.- Springer Verlag.

[2410] A.BERGASSOLI, P.FILIPPI, D.HABAULT, J.L.GUYADER, J.P.LEFEBVRE, C.LESUEUR. Cours d'Acoustique générale.

L.M.A. éditeur, 1987. (ISSN 0750-7356).

Année 1988.

[2470] R.KRONLAND-MARTINET. Synthèse soustractive numérique de signaux à partir de l'analyse de sons naturels, prédiction linéaire et filtrage convolutif. Application à la synthèse de type croisée.- Digital subtractive synthesis of signals based on the analysis of natural sounds. Linear prediction and convolutive filtering. Application to cross-synthesis. (Textes en français et en anglais).

In "Les Centres de Recherche Musicale en Région Provence Alpes Côte d'Azur Etat de la Recherche Musicale (au 1er Janvier 1989)".- ARCAM éditeur, 1988.

[2513] J.C.RISSET. Traitement des sons par synthèse croisée ou hybridation des sons quelques points de repère sur la synthèse croisée.- A short history of cross-synthesis. (Textes en français et en anglais).

In "Les Centres de Recherche Musicale en Région Provence Alpes Côte d'Azur Etat de la Recherche Musicale (au 1er janvier 1989)".- ARCAM éditeur, 1988.

[2514] J.C.RISSET. Développements récents en Informatique et Psychoacoustique musicale.- Recent developments in musical data-processing and psychoacoustics. (Textes en français et en anglais).

In "Les Centres de Recherche Musicale en Région Provence Alpes Côte d'Azur Etat de la Recherche Musicale (au 1er janvier 1989)".- ARCAM éditeur, 1988.

[2515] J.C.RISSET. L'espace réfléchi quelques observations sur l'espace et la musique aujourd'hui.

In "L'espace du son".- Musiques et Recherches, éditeur, 1988, pp.21-22.

[2618] B.SCHARF. The role of listening in the measurement of hearing.

In : "Advances in Audiology", 1988, pp.13-26. Stephen, S.D.G. (Ed.), Basel, Karger.

Année 1989.

[2576] J.C.RISSET. Paradoxical sounds.

In "Current Directions in Computer Music Research" (avec exemples sonores sur disque compact).M.V.Mathews & J.R.Pierce Ed., M.I.T. Press, 1989, pp.149-158.

[2577] J.C.RISSET. Additive synthesis of inharmonic tones.

In "Current Directions in Computer Music Research" (avec exemples sonores sur disque compact). M.V.Mathews & J.R.Pierce Ed., M.I.T. Press, 1989.

[2578] J.C.RISSET. Symétrie et arts sonores.

In "La symétrie aujourd'hui" (articles sous la direction d'Emile Noël), Ed. du Seuil (Collection Point Sciences), 1989, pp.188-203.

[2606] G.CANEVET. Audition binaurale et localisation auditive aspects physiques et psychoacoustiques.

In "Psychoacoustique et perception auditive", Ed. INSERM-SFA-CNET, 1989, Chap.3, pp.83-119.

[2619] B.SCHARF, C.POSSAMAI, A.BONNEL. Deceptive psychophysics : the probe-signal method and focused attention.

In : "Psychophysics in Action, S.Dornic & G.Ljunggren, Eds., Berlin, Springer-Verlag, 1989, pp.67-80.

Année 1990.

[2660] J.C.RISSET. Über James Tenney : Komponist, Musiker und Theoretiker. Musik Texte.

In : "Zeitschrift für Neue Musik, 37, Dezember 1990, pp.38-41.

[2661] J.C.RISSET. Composer le son : expériences avec l'ordinateur, 1964-1989.

In : "Musiques électroniques", n° spécial de la revue Contrechamps (n°11, 1990), Editions L'Age d'homme, Genève, pp.107-126.

[2663] F.CASSOT, R.PELISSIER, G.TONNETTO. Vorticity formation and transport from mechanical heart valve prostheses : experimental and numerical simulations.

In : "Bio-Mechanical Transport Processes", Plenum, New-York, 1990, pp.105-114.

[2694] O.DEBORDES, A.MORANDO. Etude numérique d'un problème de collerette d'emboutissage présentant des instabilités par bandes de cisaillement.

In : "Physique et mécanique de la mise en forme des matériaux", Presses du C.N.R.S., 1990.

[2709] G.DELFOSSE. Chapitre 22 : "Appuis spéciaux".

In : "Recommandations AFPS 90". Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1990.

[2710] G.DELFOSSE. Recommandations pour la Construction Parasismique des Installations Industrielles à risque spécial. Direction régionale de l'industrie et de la recherche Provence Alpes-côte d'Azur, 1990.

III.3 Publications de conférences à des colloques avec actes

(Documents publiés avec ISBN ou ISSN).

Année 1987.

[2290] S.MAZZANTI, J.PIRAUX. Absorption acoustique active dans l'espace : traitement des bruits large bande. EUROMECH 213 - Méthodes actives de contrôle du bruit et des vibrations - 8-16 sept. 1986, Marseille. J.Méca. Th. & Appl., suppl. to vol.6, 1987, pp.125-136.

[2314] R.H.BLANC, E.GIACOMETTI. Thermoviscoelastic behaviour of high polymers : an infrared radiometry study. IUTAM Symp. on Thermomechanical Couplings in Solids. Actes du Congrès, Ed.Elsevier sc., 1987, pp.419-425.

[2317] R.KRONLAND-MARTINET, J.MORLET, A.GROSSMANN. Analysis of sound patterns through wavelet transforms. 8th Intern. Conference on Pattern Recognition (IAPR-AFCET), Paris, 21-31 oct. 1986.- Actes parus dans :

- Proc. of IEEE Workshop on Expert Systems and Pattern Analysis, ed. by C.H.CHEN, World Scientific Pub., pp.97-125

et dans :

- Int. J. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1987, vol.1, n°2, pp.273-302.

[2318] A.GROSSMAN, M.HOLSCHNEIDER, R.KRONLAND-MARTINET, J.MORLET. Detection of abrupt changes in sound signals with the help of wavelet transforms.- Rencontre pluridisciplinaire sur les problèmes inverses (RCP 264), 1-5 décembre 1986, Montpellier.- Actes : "Inverse Problems : An Interdisciplinary Study. Advances in Electronics and Electron Physics", Suppl.19, pp.289-306. Academic Press, 1987.

[2388] P.CHABRAND, M.GHAZOUANE. Méthodes d'intégration numérique en viscoplasticité. 8ème Congrès Français de Mécanique, 31 août - 4 sept. 1987, Nantes (France).- Actes, tome 2, pp.286-287.

[2389] F.LEBON, Y.PINTO, M.RAOUS. Assemblage de solides déformables en mécanique des structures. 8ème Congrès Français de Mécanique, 31 août - 4 sept. 1987, Nantes (France).- Actes, tome 2, pp.432-433.

[2390] N.BEAUMIER, M.RAOUS. Méthode de gradient conjugué pour les problèmes de contacts unilatéraux. 8ème Congrès Français de Mécanique, 31 août - 4 sept. 1987, Nantes (France).- Actes, tome 2, pp.434-435.

[2391] F.LEBON, M.RAOUS, D.BOULEGUES. Contact with friction modeling for the study of a bolted junction. 9th Intern. Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, 17-21 aug. 1987, Lausanne (Switzerland).- Proc. Ed. Folker H.Wittmann, pp. 3-8.

[2392] C.PEYRAC, R.PENELLE, O.DEBORDES, F.PERCHET. Influence on induced anisotropy on plastic modelization of an aluminium sheet. 9th Intern. Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, 17-21 aug. 1987, Lausanne (Switzerland).- Proc. Ed. Folker H.Wittmann, pp.27-32.

[2393] V.MARTIN. Interaction between flexural and dilatational waves in a fluid-filled duct with yielding walls. 5th Intern. Modal Analysis Conference, 1987, London (England).- Proc. vol.1, pp.92-98.

[2394] F. SANTON, B.SCHARF. Franco-american differences in the discrimination of DA from GA.- 114th Meeting : Acoustical Society of America, 16-20 nov. 1987, Miami, Florida (U.S.A.).- J.A.S.A., suppl. 1, vol. 82, Fall 1987, p. S 119.

[2400] M.RAOUS, Y.PINTO, P.CHABRAND. Modélisation numérique du frottement. Application au comportement micro ou macro de toles lors de l'emboutissage. Journées Métallurgiques d'Automne (S.F.M.), 20-22 oct. 1987, Paris.- Actes dans "La Revue de Métallurgie", 1987, n°9, p.462.

[2401] J.G.SLAMA. Méthode pour la représentation de champs sonores aléatoires. 7th Congress of the Federation of Acoustical Societies of Europe, FASE 87, Lisboa (Portugal), 1987, June 22-24, Proc. pp.15-18.

[2402] R.BOUC, B.NAYROLES. Diagonal algorithms and synchronous active vibration control.- Design Engineering Technical Conference (A.S.M.E.), Sept.27-30, 1987, Boston, Mass. (U.S.A.). Proc. 87-DET-2, pp.1-4.

[2403] N.BEAUMIER. A numerical method for studying the mechanical vibrations of a small aerogenerator.- Design Technology Conference (A.S.M.E.), 11th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, Sept. 27-30, 1987, Boston, Mass. (U.S.A.).- Proc. DE - Vol.2, pp.519-524.

[2405] M.RAOUS, Y.PINTO. Direct and iterative methods for two body contact problems. 9th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Dec. 7-11, 1987, Florianopolis, SC. Actes du Congrès.

[2406] Y.PINTO, M.RAOUS. Direct nonlinear programming method for the contact between two deformable solids.- 1st Intern. Conf. on Industrial & Applied Mathematics, ICIAM 87, 29 juin - 3 juillet 1987, Paris La Villette. Actes du Congrès.

[2408] R.BOUC. Vibrations aléatoires non linéaires multidimensionnelles. Applications industrielles. 87ME Congrès Français de Mécanique; 31 août - 4 sept. 1987, Nantes (France). Actes : Tome I : Conférences générales, pp.103-119.

[2409] S.BELLIZZI, R.BOUC. Identification of the hysteresis parameters of a nonlinear vehicle suspension under random excitation.- IUTAM Symposium, June 21-26, 1987, Innsbruck/Igls (Austria). Proc. "Nonlinear Stochastic Dynamic Engineering Systems", Springer-Verlag, pp.467-476.

- [2418] S.MENSAH, J.P.LEFEBVRE. Ultrasonic reflection mode tomography. 12th Intern. Symposium on Ultrasonic Imaging and Tissue Characterization, June 8-10, 1987, Arlington, Va (U.S.A.). Proc. in "Ultrasonic Imaging", 1987, Vol.9, p.47.
- [2436] F.ANGRAND, P.LEYLAND. Compressible viscous flow simulation by multigrid methods. 8ème Congrès Int. de Calcul Scientifique et Technique, Décembre 1987, Versailles. Proc. North Holland Ed.
- [2698] H.DAI, B.SCHARF & S.BUUS. Effect of masker bandwidth on the detection of signals at unexpected frequencies. 113th Meeting of the Acoustical Society of America, May 11-15, 1987. Abstract in J. Acoust. Soc. Am., 1987, 81, S53.
- [2702] S.CHARRON, M.C.BOTTE, S.MONIKHEIM & B.SCHARF. Auditory fatigue and induced loudness adaptation. 114th Meeting of the Acoustical Society of America. Nov.16-20, 1987. Abstract in J. Acoust. Soc. Am., 1987, 82, S26.

Année 1988

- [2417] S.MENSAH, J.P.LEFEBVRE. A Suboptimal tomography reconstruction technique. 16th Intern. Symp. on Acoustical Imaging, June 10-12, 1987, Chicago (USA). Proc. in "Acoustical Imaging", L.W.Kessler Ed., Plenum Publishing Corporation, 1988, vol. 16, pp.405-414.
- [2448] R.H.BLANC, J.P.BOEHLER, A.CAGNASSO. Analyse par tomodensitométrie de l'endommagement en compression dans les composites tissu de verre-résine. 1er Colloque du GRECO 92 "Comportement Mécanique des composites à fibres", 2-4 mai 1988, Evian.. Actes..
- [2450] P.FILIPPI. Boundary Element Methods in Acoustics and Vibrations a Review of the last twenty years. (Invited paper). 10th Intern. Conf. on Boundary Element Methods in Engineering, Sept.6-9, 1988, Southampton (G.B) Proc. "Boundary Elements X", vol.4, pp.269-287. Ed. C.A.Brebbia, Springer-Verlag, N.Y., 1988.
- [2451] F.CASSOT, D.MORVAN, G.TONETTO. Unsteady flow through Prosthetic Heart Valves An integral Approach Coupled with a Vortex Method. 10th Intern. Conf. on Boundary Element Methods in Engineering, Sept.6-9, 1988, Southampton (G.B). Proc. "Boundary Elements X", vol.2, pp.311-320. Ed. C.A. Brebbia, Springer-Verlag, N.Y., 1988.
- [2452] F.CASSOT, D.MORVAN, G.TONETTO, R.PELISSIER. Three-dimensionnal flow mapping downstream mechanical and aortic valve prostheses using ultrasonic velocimetry. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Aug.6-12, 1988, San Antonio (USA.). Proc. Physics in Medicine & Biology, vol.33, suppl. 1, 1988, p.278.

- [2453] R.RIEU, F.CASSOT, D.MORVAN, P.PELISSIER. An experimental investigation of physiological type flows in left ventricular and aortic arch models. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Aug.6-12, 1988, San Antonio (USA). Proc. Physics in Medicine & Biology, vol.33, p.288.
- [2461] J.M.BESSON, M.JAEGER, O.DEBORDES. Homogénéisation de composites à base de tissus de fibres. Composites-88 World Conference, June 20-22, 1988, Nice. Proc. Composite Structures, Ed. Niku-Lari, 1988, pp.77-90.
- [2462] O.DEBORDES, H.ETTALEB, M.GRIFFITHS. SEMCO an expert system for composites. Composites-88 World Conference, June 20-22, 1988, Nice. Proc. Composite Structures, Ed. Niku-Lari, 1988, pp.190-204.
- [2464] V.MARTIN. Dispersion of compressional guided waves when coupled with flexural waves along the walls of the duct. 6th Int. Modal Analysis Conf., Feb.1-4, 1988, Floride (USA). Proc. IMAC, vol.1, pp.769-776.
- [2465] V.MARTIN. The behavior of the walls of a duct relative to a guided acoustical wave. Inter-Noise 88, Sept. 1988, Avignon. Proc. Vol.3, pp.1523-1526.
- [2473] A.GROSSMANN, R.KRONLAND-MARTINET. Time-and-scale representations obtained through continuous wavelet transforms. EURASIP 88, 7 sept. 1988, Grenoble. Proc. Signal Processing IV Theories and Applications, Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland).
- [2474] P.DUTILLEUX, A.GROSSMANN, R.KRONLAND-MARTINET. Application of the wavelet transform to the analysis, transformation and synthesis of musical sounds. 85th Audio Engineering Society Convention, Nov.3-5, 1988, Los Angeles (USA). Proc.
- [2476] R.KRONLAND-MARTINET. Analysis, re-synthesis and modification of sound signals with the help of time and scale representation. Intern. Conf. of Acoustical Society of America, May 17, 1988, Seattle (USA). Proc.
- [2478] G.SARACCO, P. TCHAMITCHIAN. A study of acoustic transmission of transient signal in a inhomogeneous medium with the help of a wavelet transform. Application to an Air-Water Plane Interface. Electromagnetic and Acoustic Scattering Detection and Inverse Problem, May 21 - June 3, 1988, Marseille-Luminy. Ed. World Scientific, Proc. pp.220-241.
- [2481] M.C.BOTTE, S.CHARRON, S.MONIKHEIM, B.SCHARF. Predicting susceptibility to auditory fatigue on the basis of loudness adaptation. 5th Intern. Congress on Noise as a Public Health Problem, Aug. 21-25, 1988, Stockholm (Sweden). Proc.
- [2482] B.SCHARF. The effect of listening of hearing focused attention in audition. Nordic Acoustical Meeting 88, June 15-17, 1988, Tampere (Finland). Proc. Ed. The Acoustical Society of Finland, 1988, pp.1-8.

- [2485] L.BRIZE-TRAMONI, J.P.SESSAREGO. Acoustic scattering by thin spherical shells. Electromagnetic and Acoustic Scattering Detection and Inverse Problem, May 21 - June 3, 1988, Marseille-Luminy. Proc. pp.56-68.
- [2487] G.C.DELFOSSE. Base isolation for earthquake protection of dwelling-houses. 1988 Intern. Symposium on Earthquake Counter Measures, May 10-13, 1988, Beijing (Chine). Proc. pp.1-8.
- [2488] G.C.DELFOSSE, J.C.MIRANDA. Seismic base isolation for small masonry buildings. 9th World Conf. on Earthquake Engineering, Aug. 2-9, 1988, Tokyo (Japan). Proc.
- [2489] J.P.PASQUALINI, A.ROURE, G.CHATEL. Development of an underwater array bases on numerical beam forming for echo cancellation. Inter-Noise 88, Sept. 1988, Avignon. Proc. pp.163-166.
- [2490] C.CARME. A new filtering method by feedback for A.N.C. at the ear. Inter-Noise 88, Sept. 1988, Avignon. Proc. 1083-1086.
- [2491] A.ROURE. Fast algorithms in active noise or vibration control. ICASP 88, Avril 1988, New-York (USA). Proc.A3.1, pp.2582-2585.
- [2496] J.P.LEFEBVRE. A linearized inverse problem acoustic impedance tomography of biological media. Electromagnetic and acoustic scattering detection and inverse problem, May 21 - June 3, 1988, Marseille-Luminy. Proc. pp.288-302, Ed. World Scientific.
- [2497] J.P.LEFEBVRE. Texte en français Tomographie ultrasonore assistée par ordinateur le système L.M.A.- Texte en anglais Ultrasonic Computer Assisted Tomography the L.M.A.'s system. 7ème Colloque International "Progrès dans les méthodes d'investigation des métaux et des nouveaux matériaux", 22-24 novembre 1988, St-Etienne. Actes du Colloque, pp.1-11.
- [2506] F.LEBON, M.RAOUS. Behaviour of a bolted junction under internal pressure loading. Congrès NUCMAT 88 "Materials Engineering for safety in nuclear power generation", June 22-24, 1988, Nice. Actes du Congrès.
- [2507] P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS. Numerical modelling of friction for metal forming processes. Euromech 233 "Modelling of metal forming processes", 29-31 août 1988, Sophia-Antipolis. Actes du Congrès.
- [2508] P.CHABRAND, M.GHAZOUANE. Cracked viscoplastic solid behaviour. 27th Polish Solid Mechanics Conference, Aug..29 - Sept. 3, 1988, Ryto (Pologne). Proc. pp.44-45.
- [2509] F.LEBON. Multigrid method for contact with friction problems. Application in nuclear engineering. 27th Polish Solid Mechanics Conference, Aug. 29- Sept. 3, 1988, Ryto (Pologne). Proc. p.104.
- [2510] F.LEBON, M.RAOUS. Multigrid method for the Coulomb friction law. Application in reactor technology. Congrès FEMCAD 88, 17-19 octobre 1988, Paris. Actes du Congrès..
- [2511] P.CHABRAND, M.GHAZOUANE. Unilateral problems for cracked viscoelastic and viscoplastic solids. Congrès FEMCAD 88, 17-19 octobre 1988, Paris. Actes du Congrès.

- [2553] G.CHATEL, T.ROHAN, J.P.PASQUALINI, A.ROURE. Underwater active array for echo cancellation. Application to reciprocal measurements. 115th Meeting of the Acoustical Society of America, May 16-20, 1988, Seattle, Washington (USA). Abstract in J. Acoust. Soc. Am., Spring 1988, Suppl.1, vol.83
- [2703] B.SCHARF, H.DAI & J.L.MILLER. The role of attention in speech perception. 116th Meeting of the Acoustical Society of America, Nov.14-18, 1988. Abstract in J. Acoust. Soc. Am., 1988, 84, S158.

Année 1989.

- [2412] J.C.RISSET. The computer, music, and sound models. Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. CIRM - Marseille-Luminy. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.102-125.
- [2414] P.DUTILLEUX. An Implementation of the "algorithme à trous" to compute the wavelet transform. Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. CIRM - Marseille-Luminy. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.298-304.
- [2422] G.SARACCO, A.GROSSMANN, P.TCHAMITCHIAN. Use of wavelet transforms in the study of propagation of transient acoustic signals across a plane interface between two homogeneous media. (with 7 figures). Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. CIRM - Marseille-Luminy. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.139-146.
- [2423] J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, P.FLANDRIN, M.ZAKHARIA. Time-Frequency analysis of signals related to scattering problems in acoustics. Part 1 Wigner-Ville analysis of echoes scattered by a spherical shell. (with 4 fig.). Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.147-153.
- [2471] A.GROSSMANN, R.KRONLAND, J.MORLET. Reading and Understanding continuous wavelet transforms. Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. CIRM - Marseille-Luminy. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.2-20.
- [2472] M.HOLSCHNEIDER, R.KRONLAND, J.MORLET, P.TCHAMITCHIAN. A Real-Time Algorithme for signal analysis with the help of the wavelet transform. Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.286-297.
- [2518] J.G.SLAMA. Coherence and projectors in Acoustics. Intern. Conf. Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space. Dec. 14-18, 1987. CIRM - Marseille-Luminy. Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.154-157.

- [2526] P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS. A numerical model of friction for the blankholder function analysis. Congress NUMIFORM 89, 3rd Intern. Conf. on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, June 26-30, 1989, Fort Collins, Colorado (USA). Proc. pp.407-412.
- [2527] P.CHABRAND, F.LEBON, M.RAOUS. Variational velocity formulation for contact with friction problems and applications. Congress SMIRT 89 (10th Intern. Conf.), Aug. 14-18, 1989, Anaheim, Calif (USA). Proc. pp.167-172.
- [2528] F.LEBON, M.RAOUS. Multigrid in structure assembling problem. Congress SMIRT 89 (10th Intern. Conf.), Aug.14-18, 1989, Anaheim, Calif. (USA). Proc. pp.197-202.
- [2529] F.LEBON, M.RAOUS. Fixed point and internal multigrid methods for friction problems in structure assembling. 5th Intern. Symposium on Numerical Methods in Engineering. GAMNI/SMAI, Sept.11-15, 1989, Lausanne (Suisse). Proc.
- [2530] P.CHABRAND, F.LEBON, Y.PINTO, M.RAOUS. Computational non linear mechanics for engineering problems. 2nd Intern. Conf. on Computational Plasticity, Sept. 18-22, 1989, Barcelone (Espagne). Proc.
- [2531] C.LICHT, P.SUQUET. Rupture ductile et croissance de cavités dans une matrice viscoplastique. (conf. invitée). 32ème Colloque de Métallurgie du C.E.A., Saclay. Proc.
- [2546] H.JAFFAL, B.JANIN, J.C.MICHEL, O.DEBORDES. A numerical method of resolution for trimensional viscoplastic problems in homogenization. 5ème Congrès intern. sur les Méthodes Numériques de l'Ingénieur, Lausanne (Suisse) Proc. Springer-Verlag, 1989, pp.297-304.
- [2550] R.H.BLANC. Spectrométrie de résines par essais d'impact. 5ème Journée Nationale DYMAT, 14 décembre 1989, Bordeaux. Actes, pp.4-1/4-19. A paraître dans le Journal de Physique III.
- [2551] S.BELLIZZI, R.BOUC. Adaptive control for semi-active isolators. 12th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, Sept. 1989, Montreal, (Canada). Proc. DE-Vol.18.2.
- [2552] S.BELLIZZI & R.BOUC. Adaptive control for semi-active stochastic systems. Euromech 250 Nonlinear structural systems under random conditions, June 19-23, 1989, Como (Italia). Proc.
- [2559] P.FILIPPI. Application of perturbation techniques to the prediction of the sound field radiated by a vibrating structure in gas. Inter-Noise 89, Dec.4-6, 1989, New-Port Beach, Calif. (USA). Proc. Ed. G.C.Maling Jr., N.Y., 1989, vol.I, pp.305-308.
- [2560] D.HABAULT. Propagation of vibrations in a layer of ground. Inter-Noise 89, Dec.4-6, 1989, New-Port Beach, Calif. (USA). Proc. Ed. G.C.Maling Jr., N.Y., 1989, vol.II, pp.1221-1224.
- [2561] P.FILIPPI, D.HABAULT. Sound radiated by a baffled cylindrical shell (boundary integral equations technique). Congrès ASME Numerical Techniques in Acoustic Radiation, Dec.10-15. 1989, San Francisco (USA). Ed. by R.J.Bernhard & R.F.Keltie, ASME, N.Y., 1989. NCA, vol.6, pp.171-175.

- [2569] G.SARACCO, P.TCHAMITCHIAN. Retrieval of a time-dependent source in an acoustic propagation problem. Proc. of the Multicentennials Meeting on Inverse Problems, Nov.27-Dec.1, 1989. Montpellier. In : Inverse Methods in Action, Ed. P.C.Sabatier, 1990, pp.207-211.
- [2579] F.BOYER, R.KRONLAND-MARTINET. Granular resynthesis and transformation of sounds through wavelet transforms analysis. Intern. Computer Music Conf., Nov.2-5, 1989, Columbus, Ohio (USA). Proc.
- [2581] P.DUTILLEUX. Simple to operate digital time varying filters. 86ème Congrès de l'Audio Eng. Society, mars 1989, Hambourg (Allemagne). Proc. pp.2757.
- [2582] P.DUTILLEUX. Spinning the sounds in real time. Intern. Computer Music Conf., Nov.2-5, 1989, Columbus, Ohio (USA), Proc. pp.94-07.
- [2587] J.C.RISSET. Issues for new music bridging gaps - between computer sound and instrumental sound ; between real-time and delayed synthesis ; between digital synthesis and digital processing of natural sound. Intern. Symposium on Information Science, 28-30 mars 1989, Tokyo (Japan). Proc. pp.106-110.
- [2595] G.CANEVET, B.SCHARF, M.C.BOTTE. Loudness adaptation when and why it occurs. 13th Intern. Congress on Acoustics, Aug. 1989, Belgrade (Yugoslavia). Proc. pp.381-384.
- [2596] F.SANTON. Nouveaux résultats sur la coloration. 13th Intern. Congress on Acoustics, Août 1989, Belgrade (Yougoslavie). Proc. pp.439-442.
- [2597] J.P.COL. Localisation monaurale de son pur dans le plan horizontal. 13th Intern. Congress on Acoustics, Août 1989, Belgrade (Yougoslavie). Proc. pp.395-398.
- [2600] J.P.COL. Influence d'une bande de bruit sur la localisation d'un signal. 8ème Symposium FASE 89, 1989, Saragosse (Espagne). Proc. pp.307-310.
- [2602] S.RAYNAUD, E.CARRIO-SCHAFFHAUSER, Y.GERAUD, H.J.LATIERE, F.MAZEROLLE. Medical scanner for geological use. EUG.V, March 20-23, 1989, Strasbourg. Proc. Terra Abstracts, 1989, OSO8-40P., p.386.
- [2603] E.CARRIO-SCHAFFHAUSER, S.RAYNAUD, H.J.LATIERE, F.MAZEROLLE. Quantification with X-ray tomodensitometry (scanner), of rock matrix deformation by pressure-solution and crystallization nearby stylolitic structures. Conf. Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics, March 29-31, 1989, Univ. of Leeds (G.B.). Proc.
- [2604] D.FABRE, F.MAZEROLLE, S.RAYNAUD. Caractérisation tomodensitométrique de la porosité et de la fissuration de roches sédimentaires. Intern. Symposium "Rock at Great Depth", 28-31 août 1989, Pau. Proc. Ed.V.Maury & D.Fourmaintraux, pp.297-304.

[2704] H.DAI, S.BUUS & B.SCHARF. Psychometric functionw for unattended tones. 118th Meeting of the Acoustical Society of America. St Louis MO., Nov. 27 - Dec. 1, 1989. Abstract in J. Acoust. Soc. Am., 1989, 86, S98-99.

Année 1990.

[2620] F.SANTON. Coloration d'une bande de bruit due à un écho. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, vol.I, pp. C2-143/C2-146.

[2626] C.GAZANHES. Caractérisation acoustique du milieu marin sur modèles réduits : méthodes et moyens. Entretiens "Science et Défense 1990". Actes : Le Traitement du Signal, Dunod, Paris, pp.78-87.

[2630] P.FLANDRIN, J.P.SESSAREGO. Méthodes temps-fréquence en Acoustique. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Suppl. au n°2, fév.1990, vol.II, pp.C2-707/C2-716.

[2631] P.FILIPPI, J.P.SESSAREGO. Application de la théorie spectrale aux problèmes de diffraction-diffusion et de rayonnement acoustiques. Colloque JESPA (9èmes Journées d'Etude sur la Propagation Acoustique), 11-14 sept. 1990, Marseille. Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C3, Suppl. au n°7, 1er sept.1990, pp.C3-63/C3-72.

[2632] D.HABAULT. Propagation d'ondes dans un sol stratifié avec obstacle. Colloque JESPA (9èmes Journées d'Etude sur la Propagation Acoustique), 11-14 sept. 1990, Marseille. Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C3, Suppl. au n°7, 1er sept. 1990, pp.C3-83/C3-89.

[2633] P.O.MATTEI. Rayonnement acoustique d'une coque cylindrique infinie périodiquement raidie, immergée dans un fluide lourd par une méthode d'équations intégrales de frontières. Colloque JESPA (9èmes Journées d'Etude sur la Propagation Acoustique), 11-14 sept.1990, Marseille. Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C3, Suppl. au n°7, 1er sept. 1990, pp.C3-187/C3-196.

[2634] D.HABAULT. Propagation d'ondes vibratoires dans un sol. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-29/C2-32.

[2635] R.H.BLANC. Détermination des propriétés acoustiques des matériaux doués d'amortissement. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 Avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-65/C2-68.

- [2636] A.FRANCES, G.CHATEL, A.ROURE. Analyse du rayonnement acoustique d'une plaque avec contrôle de l'amplitude des premiers modes. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-205/C2-208.
- [2637] P.RECOTILLET, J.P.LEFEBVRE. Passage du fond homogène au fond hétérogène en tomographie ultrasonore en réflexion. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-303/C2-306.
- [2638] V.MARTIN. Propagation d'une onde harmonique linéaire en milieu fluide stratifié, solution élémentaire. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-353/C2-356.
- [2639] P.O.MATTEI. Rayonnement acoustique d'une coque cylindrique infinie périodiquement raidie, immergée dans un fluide lourd et subissant des contraintes localisées. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-403/C2-406.
- [2640] G.RABAU, C.GAZANHES. Modèles géoacoustiques. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.I, pp.C2-447/C2-450.
- [2641] J.DUDON, D.ARFIB. Synthèse photosonique. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-845/C2-848.
- [2642] D.ARFIB. Transformations exotiques de sons naturels sur ordinateur. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-853/C2-856.
- [2643] P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES. Propagation sonore en eau peu profonde : cas d'un modèle géo acoustique. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-973/C2-976.
- [2644] O.GERARD, J.LEANDRE, C.GAZANHES. Propagation acoustique à travers un rideau de bulles 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-985/C2-988.
- [2645] G.SARACCO, Ph.TCHAMITCHIAN, C.GAZANHES. Transmission à travers un dioptré et reconstruction du signal. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-1049/C2-1052.

- [2646] V.KRISTIANSEN, P.FILIPPI. Prédiction et analyse des performances des salles de spectacle : identification des échos à l'aide d'une base d'ondelettes orthogonales. 1er Congrès Français d'Acoustique, 10-13 avril 1990, I.C.P.I., Lyon (France). Actes : "Journal de Physique", tome 51, Colloque C2, Suppl. au n°2, fév.1990, Vol.II, pp.C2-1113/C2-1116.
- [2647] D.HABAULT. Propagation of vibrations in a layer of ground. Congrès EUROBEM 90, 15-17 mai 1990, Nice. Actes, pp.169-178.
- [2648] P.O.MATTEI. Calculation of the displacement vector of a fluid-loaded stiffened cylindrical shell under constraints. Congrès EUROBEM 90, 15-17 mai 1990, Nice. Actes, pp.109-120.
- [2649] G.TONETTO, F.CASSOT, R.RIEU, R.PELISSIER. Experimental and numerical velocity field downstream prosthetic valves in aortic position. 1st World Congress of Biomechanics, 1990, La Jolla (U.S.A.).
- [2650] G.TONETTO, F.CASSOT, R.RIEU, PELISSIER. Near velocity field downstream prosthetic valves in aortic positions XVIIth E.S.A.O. (European Society of Artificial Organs) Congress, 1990, Bologne. Actes.
- [2659] R.H.BLANC. Determination of the rheological properties of solids using pulse propagation methods. 3rd European Rheology Conf., 1990, Edinburgh, Proc. D.R.Oliver, Ed., Elsevier Sci. Publ., London, 1990, pp.57-59.
- [2662] J.P.LEFEBVRE, P.RECOTILLET. Imagerie de défauts dans des pièces planes par tomographie ultrasonore. 1er Congrès COFREND, 6-9 nov.1990. Actes.
- [2676] C.LICHT, P.SUQUET. Conférence invitée : Rupture ductile et croissance de cavités dans une matrice viscoplastique. In : Aspects microstructuraux de la rupture. 32ème Colloque de Métallurgie de l'INSTN. Editions de la Revue Française de Métallurgie. Paris. 1990, pp.169-179.
- [2678] O.DEBORDES, J.C.MICHEL. Parallélisation de problèmes non linéaires. In : Calcul des Structures et Intelligence Artificielle, Vol.4. Ed. J.M.Fouet, P.Ladevèze, R.Ohayon. Pluralis, Paris. 1990, pp.223-232.
- [2679] S.BONELLI, O.DEBORDES, J.C.MICHEL. Eléments finis sur machine à transputers, analyse des performances en élastoplasticité. In : StruCome 1990. Dataid. Paris. 1990, pp.605-613.
- [2686] G.CHATEL, A.FRANCES, A.ROURE. Active control of airborne noise transmitted through a ribged-panel. Inter-Noise 90, 13-15 août 1990. Göteborg, Sweden.
- [2687] A.ROURE. Derniers développements de l'atténuation acoustique active au L.M.A. Journée Thématique sur le Contrôle Actif Acoustique et Vibratoire, S.F.A., 16-17 octobre 1990. Vaulx-en-Velin (France).
- [2688] S.BELLIZZI, R.BOUC. Contrôle semi-actif de suspensions. Journée Thématique sur le Contrôle Actif et Vibratoire, S.F.A., 16-17 octobre 1990. Vaulx-en-Velin (France).

[2690] P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS. Numerical modelling of the friction in small and finite strains for metal forming processes. Analysis of the blankholder function. Colloque Euromech 273 : Unilateral contact and dry friction. May 29th-June 1st, 1990. La Grande Motte (France).

[2696] O.DEBORDES, F.GOLAY, D.GUEDRA & X.POUILLOT. Modélisation thermo-chimique par éléments finis de la polymérisation d'un composite Carbone/Epoxy". In : SRUCOME, 1990. Dataid, Paris, pp.447-454.

[2705] R.KRONLAND-MARTINET, Ph.GUILLEMAIN & A.GROSSMANN. Wavelet methods for estimation of acoustically relevant parameters of musical signals. 120th Meeting of the Acoustical Society of America, San Diego, CA., Nov.26-30, 1990. Abstract in J. Acoust. Soc. Am., 1990, 88, S187-188.

III.4 Publications de conférences à des colloques sans actes ou à diffusion restreinte

Année 1987

[2373] C.BATHIAS, A.CAGNASSO, H.J.LATIERE. Etude de la porosité des composites fibres de carbone par tomodynamométrie.- APEND Journées d'information sur les contrôles non destructifs, 29-30 sept.- 1er oct. 1987, Toulouse.

[2407] J.KISTER, A.CAGNASSO, H.J.LATIERE, H.DOUE. Oxydation naturelle du charbon. Approche macromoléculaire par scanner X. Réunion ouverte du GRECO "Hydroconversion et pyrolyse du charbon", 10-11 sept. 1987, Poitiers.

[2411] P.FILIPPI. Rayonnement d'une structure vibrante en fluide léger : calcul des amortissements par les techniques classiques de perturbation.- Journées LMA/SFA/GESPA "Rayonnement acoustique des structures vibrantes et modélisation des sources de bruit", 7-8 Déc. 1987, Marseille.

[2415] M.RAOUS. Validation de codes de calcul pour les problèmes de contact avec frottement : synthèse. Colloque GRECO "Grandes Déformations et Endommagement", 26-30 janv. 1987, Aussois.

[2416] M.RAOUS, N.BEAUMIER, P.CHABRAND, M.GHAZOUANE, F.LEBON, Y.PINTO. Contact unilatéral. Frottement et viscoplasticité. Rapport GRECO "Grandes Déformations et Endommagement", n°212/1987.

[2420] J.BLAUERT, G.CANEVET, B.SCHARF, Ch.POSSELT. Kompensationsexperimente mit dichotischen Signalen unterschiedlichen Ursprungs. DAGA, 1987, Aachen, Allemagne.

[2421] G.CANEVET. Audition binaurale. Journées didactiques du Groupe Audition, janvier 1987, Paris.

[2425] J.L.GARNIER. Le principe de réciprocité appliqué aux transducteurs ultrasonores. Colloque S.F.A. "Réciprocité : principe et applications", 20 oct. 1987, CNAM, Paris.

[2426] P.FLANDRIN, J.SAGELOLI, J.P.SESSAREGO, M.ZAKHARIA. Application de l'analyse temps-fréquence à la caractérisation de cibles. 11ème Colloque GRETSI, 1-5 juin 1987, Nice.

[2427] A.BENCHALA, J.P.HERAULT, C.GAZANHES. Etude de la propagation d'ondes acoustiques en milieu hétérogène : application au calcul de la dispersion de vitesse par une technique large bande. 11ème Colloque GRETSI, 1-5 juin 1987, Nice.

[2433] M.DEFILIPPI. An efficient multiharmonic algorithm for nonlinear multidimensional random vibration. 11th Intern. Conf. on Nonlinear Oscillations, Aug. 17-23, 1987, Budapest. Proc. pp.539-542.

Année 1988.

- [2455] P.FILIPPI, D.HABAULT. Le couplage fluide-structure par la méthode des équations intégrales de bord. Journée thématique D.R.E.T. "Interaction Fluide-Structure", 21 avril 1988.
- [2456] D.HABAULT. Propagation d'une onde dans un sol. 7ème Symposium "Bruit et Vibrations", 24-26 mai 1988, Montpellier.
- [2457] P.FILIPPI, J.PIRAUX. Modélisation d'une source de bruit par mesure d'antennerie et techniques d'optimisation. 7ème Symposium "Bruit et Vibrations", 24-26 mai 1988, Montpellier.
- [2458] F.CASSOT, R.RIEU, D.MORVAN, R.PELISSIER. Ultrasonic velocity measurements for unsteady flows in tubes and cavities simulating the cardio-vascular system. IUTAM, XVIIth Intern. Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 21-27 août 1988, Grenoble. Abstracts, p.46.
- [2466] V.MARTIN, B.PESEUX, J.P.QUEVAT. Couplage fluide-structure-fluide. Colloque GRECO "Calcul des Structures", 1988, Giens.
- [2477] R.KRONLAND-MARTINET. Wavelet analysis. Intern. Workshop of singing voice and time-frequency representations, Oct. 28-30, 1988, Naples (Italie). Actes à paraître M.I.T. Press.
- [2480] J.P.SESSAREGO. Application des méthodes de représentation temps-fréquence à la caractérisation acoustique de cibles élastiques. Colloque "Diffusion Electromagnétique et Acoustique. Détection et problème inverse", 31 mai - 3 juin 1988, Marseille-Luminy.
- [2483] F.SANTON. Rôle des réflexions frontales et latérales sur la coloration. Réunion du Groupe Audition de la SFA et DAGA, 10-11 octobre 1988, St. Louis.
- [2484] J.P.COL, G.CANEVET. Perception de l'espace en écoute monaurale. Réunion du Groupe Audition de la SFA et DAGA, 10-11 octobre 1988, St. Louis.
- [2492] S.BELLIZZI, R.BOUC. Adaptive Control of semi-active isolators. Seminar on Effective Stochastic Analysis, Oct. 1988, Delphes (Grèce).
- [2493] J.P.LEFEBVRE. Tomographie ultrasonore assistée par micro-ordinateur. Séminaire Européen de Tomographie Industrielle (Intercontrôle - C.E.A.), 28-29 mars 1988, Grenoble.
- [2494] J.P.LEFEBVRE. Banc de tomographie ultrasonore assistée par micro-ordinateur pour l'étude des matériaux. Forum National sur les Contrôles Non Destructifs (APEND), 27-29 avril 1988, Aix-En-Provence.
- [2495] J.P.LEFEBVRE. Applications de la thermographie infrarouge en Mécanique des Solides. Forum National sur les Contrôles Non Destructifs (APEND), 27-29 avril 1988, Aix-en-Provence.
- [2503] V.MARTIN. Calcul d'intégrales de Cauchy pour les ondes élastiques. Colloque ATP "Ondes sismiques en milieu hétérogène", 15 mars 1988, Paris.
- [2517] D.ARFIB. Time frequency representation of sounds. Colloque international "Time Frequency Representations", Nov. 1988, Naples.

(Italie). Actes à paraître M.I.T. Press.

[2519] J.C.RISSET. Paradoxes de la fonction auditive. Journées du Club de Neuro-Audio-Acoustique, 22 avril 1988.

[2521] F.BENKHALDOUN, P.LEYLAND, B.LARROUTUROU. Dynamic Mesh Adaption for unsteady nonlinear phenomena. Application to flame propagation. 2nd Intern. Conf. on Numerical Grid Generation in Computational Fluid Dynamics, Dec. 5-8, 1988, Miami Beach (USA).

[2522] A.CAGNASSO. Etude des collages par tomodensitométrie. Forum National sur les Contrôles Non Destructifs (APEND), 27-29 avril 1988, Aix-en-Provence.

Année 1989.

[2532] M.RAOUS, Y.PINTO, P.CHABRAND. Contribution à la présentation poster du groupement "Contact métal outil en emboutissage". Modélisation numérique du frottement en emboutissage. Colloque ID-MAT/Matériaux Sciences et Industrie, 9-11 janv. 1989, La Villette-Paris.

[2533] C.LICHT, P.SUQUET. Prise en compte d'interactions dans les modèles de croissance de cavités. Colloque ID-MAT/Matériaux Sciences et Industrie, 9-11 janv. 1989, La Villette-Paris.

[2534] P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS. Méthodes numériques pour les problèmes de contact avec frottement. Application en emboutissage. 3ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures", 16-19 mai 1989, Giens.

[2535] F.LEBON, M.A.LEDAIN, M.BELLET, J.L.CHENOT, M.RAOUS. Introduction aux méthodes multigrilles en calcul des structures linéaire ou non linéaire. 3ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures", 16-19 mai 1989, Giens.

[2536] M.RAOUS, C.LICHT, E.PRATT. Remarks on a numerical method for unilateral contact including friction. 4th Meeting "Unilateral Problems in Structural Analysis", 14-16 juin 1989, Capri (Italie).

[2537] J.MADEJ, M.RAOUS. Damage influence on thermal properties of Materials. Euromech 251 "Applications of continuum Damage Mechanics", 4-7 sept. 1989, Krakow (Poland).

[2538] A.AIT MOUSSA, C.LICHT, P.SUQUET. Etude d'un joint collé très mince. 21ème Congrès National d'Analyse Numérique, Autrans.

[2539] A.AIT MOUSSA, C.LICHT, P.SUQUET. Modélisation et singularités de contraintes dans un joint collé mince. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz.

[2540] R.PEYROUX, P.SUQUET. Caractéristiques thermoélastiques d'un composite à fibres courtes. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz.

[2541] M.RAOUS, S.TOPIN. Ondes de contrainte dans un contact glissant. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz.

- [2542] P.CHABRAND, Y.PINTO, M.RAOUS. Modélisation de l'effet de serre-flan en emboutissage. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz.
- [2545] V.MARTIN, B.PESEUX, J.P.QUEVAT. Couplage fluide-structure-fluide ondes stationnaires dans un fluide intérieur à une cavité aux parois vibrantes, plongée dans un fluide. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz.
- [2549] R.H.BLANC. Détermination des propriétés mécaniques des solides viscoélastiques aux fréquences audibles par des méthodes d'impulsion. 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 sept. 1989, Metz. Actes, Vol.2, p.556.
- [2562] D.HABAULT. Etudes développées au L.M.A. sur la réflexion d'une onde sonore par une interface. Journée d'Information I.N.R.S., 23 mai 1989, Nancy.
- [2563] F.CASSOT, R.PELISSIER, G.TONNETTO. Vorticity formation and transport from mechanical heart valve prosthesis. Experimental and numerical simulation. Euromech n°259, Oct. 1989, Cargèse.
- [2565] L.BRIZE-TRAMONI, J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, P.FLANDRIN, M.ZAKHARIA. Analyse temps fréquence de la réponse acoustique d'une coque sphérique. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2566] P.FLANDRIN, J.SAGELOLI, J.P.SESSAREGO, B.VIDALIE, M.ZAKHARIA. Ondelettes, spectrogrammes et lissages de la distribution de Wigner-Ville. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2567] G.SARACCO, G.CORSAIN, R.HOLTZER, J.LEANDRE, C.GAZANHES. Mise en évidence des ondes latérales expérimentalement dans le cas du dioptré plan air-eau. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins. Actes, pp.937-940.
- [2568] G.SARACCO. Propagation d'ondes transitoires. 2ème Colloque "Wavalets and applications", 29 mai - 3 juin 1989, C.I.R.M.Luminy-Marseille.
- [2570] J.P.HERAULT, C.GAZANHES. Modélisation numérique d'un milieu multicouche. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2571] O.GERARD, C.GAZANHES. Etude acoustique d'un rideau de bulles. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2572] J.L.GARNIER, P.CRISTINI, C.GAZANHES. Caractérisation des modes de propagation par leur fréquence spatiale. Application à l'identification d'un fond marin modélisé en bassin. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2573] P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES. Rôle du coefficient de réflexion dans la propagation en eau peu profonde sur fond stratifié. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan les Pins.
- [2574] P.CRISTINI, J.L.GARNIER. Influence de l'absorption des milieux sur la formation d'une onde de Staneley. Colloque GESPA, 7 juin 1989, Paris.

- [2580] B.ESCUDE, R.KRONLAND-MARTINET, A.GROSSMANN, B.TORESANI. Analyse par ondelettes des signaux asymptotiques emploi de la phase stationnaire. 12ème Colloque GRETSI, 12-16 juin 1989, Juan Les Pins.
- [2583] R.KRONLAND-MARTINET. Wavelets and acoustic a survey. 2ème Colloque "Wavelets & applications", 29 mai - 3 juin 1989, CIRM Luminy-Marseille.
- [2584] P.GUILLEMAIN. Estimation of spectral times through wavelet transform. 2ème Colloque "Wavelets & applications". 29 mai - 3 juin 1989, CIRM Luminy-Marseille.
- [2585] D.ARFIB, F.BOYER. Analysis, synthesis and transformation of sound GABOR and wavelets. 2ème Colloque "Wavelets & applications", 29 mai - 3 juin 1989, CIRM Luminy-Marseille.
- [2586] N.DELPRAT. Estimation of frequency modulation law through wavelet transforms. 2ème Colloque "Wavelets & applications", 29 mai - 3 juin 1989, CIRM Luminy-Marseille.
- [2588] J.C.RISSET. Issues for new music. Intern. Open Forum "Computer Music past, present, future", 31 mars 1989, Osaka (Japon).
- [2589] J.C.RISSET. Chaos, fractals, music. Intern. Meeting "Chaos & Order", 14-18 oct. 1989, Graz (Autriche).
- [2590] J.C.RISSET. Musical perception and auditory illusions. Intern. Society for Psychophysics (5ème réunion de l'I.S.P.) Fechner Day 89. 21-24 oct. 1989, Cassis.
- [2591] J.C.RISSET. Close encounters between instruments and computer (avec démonstration de l'interaction piano-ordinateur). Séminaire "Avevamo nove oscillatori", 16-18 novembre 1989, Milan (Italie).
- [2592] J.C.RISSET. Ordinateur et instruments rencontres du 3ème type. Colloque intern. "Le dialogue de l'instrument et de l'électronique", 6-8 Déc. 1989, G.M.E.M.-Marseille.
- [2598] B.SCHARF, G.CANEVET. Loudness adaptation, loudness functions, and decruitment. Intern. Society for Psychophysics (5ème réunion de l'I.S.P.) Fechner Day 89, 21-24 oct. 1989, Cassis.
- [2599] F.SANTON. Poster Coloration of a white noise and of bands of noise in the presence of an echo. Intern. Society for Psychophysics (5ème réunion de l'I.S.P.) Fechner Day 89, 21-24 oct. 1989, Cassis.
- [2612] P.RECOTILLET, J.P.LEFEBVRE La tomographie ultrasonore en réflexion cas particulier d'un objet "enfoui". 9ème Congrès Français de Mécanique, 5-8 septembre 1989, Metz.
- [2613] H.JAFFAL. Mise en forme d'un composite à comportement élasto-viscoplastique via la théorie de l'homogénéisation. 2ème Colloque Maghrébin sur les Modèles Numériques de l'Ingénieur. 22-24 Novembre 1989. Rabat, Maroc. Proc. Sciences & Techniques, Vol. II, pp. 422-428.

- [2614] A.BOUKAMEL. Simulation par éléments finis "Pseudo-Axisymétriques" du comportement en grandes déformations structures en élastomères et validation expérimentale. 2ème Colloque Maghrébin sur les Modèles Numériques de l'Ingénieur. 22-24 Novembre 1989. Rabat, Maroc. Proc. Sciences & Techniques, Vol. II, pp.429-436.
- [2653] J.C.RISSET. Computer synthesis forces ut to better understand the perception of musical sound. The First International Conference on Music Perception and Cognition, 17-19 octobre 1989. Kyoto, Japon. p.59.
- [2701] I.VALENTIN. Modélisation plane d'implants dentaires. AFNOR, Comité d'étude n°9 sur les Implants dentaires. 1989.

Année 1990.

- [2651] D.HABAULT. Propagation d'ondes vibratoires dans un sol. 8ème Symposium "Bruit et Vibrations". 21-23 mai 1990. La Rochelle (France).
- [2652] F.CASSOT, P.FILIPPI. Influence d'un écoulement sur la mise en vibration et le rayonnement acoustique d'une structure cylindrique". 27ème Colloque d'Aérodynamique appliquée. 1990. Marseille (France).
- [2654] G.RABAU, C.GAZANHES, J.P.HERAULT. Geoacoustic modelling of the sea bed. Shear Waves in Marine Sediments Conference, Oct.15-19, 1990. La Spezia (Italy). Actes à paraître : Ed. Kluwer Academic Publishers.
- [2655] P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES. Normal modes identification in shallow water using spectral analysis : theory and experiments. Shear Waves in Marine Sediments Conference, Oct.15-19, 1990. La Spezia (Italy). Actes à paraître : Ed. Kluwer Academic Publishers.
- [2656] G.SARACCO, P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET, J.P.SESSAREGO. Elastic shells characterization by wavelet transform. I.E.E.E. Ultrasonics Symposium, Dec.1990, Hawaï, Honolulu. (Poster).
- [2657] G.SARACCO, J.P.SESSAREGO, J.SAGELOLI, P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET. Extraction of modulation laws of elastic shells by the use of the wavelet transform. Colloque "Ondelettes" 89. Proc. "Wavelets and applications", Ed. Y.Meyer, T.Paul, Masson. (A paraître).
- [2658] G.SARACCO, P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET. Characterization of elastic shells by the use of the wavelet transform. I.E.E.E. Ultrasonics Symposium, Dec.1990, Hawaï, Honolulu. Proc. à paraître.
- [2664] J.C.RISSET. Computer synthesis of sound forces us to consider Gibson's view of ecological acoustics. European workshop on ecological psychology. June 7-8, 1990. Proc. pp.48-49.

- [2665] J.C.RISSET. Synthèse, perception du son musical et modèles physiques. Colloque Modèles Physiques, 19-21 sept.1990, Grenoble (France).
- [2666] J.C.RISSET. Invited keynote paper : From piano to computer to piano. International Computer Music Conference. Sept.10-15, 1990. Glasgow (Scotland). Proc. pp.15-19.
- [2667] D.ARFIB. In the intimacy of a sound. International Computer Music Conference. Sept.10-15, 1990. Glasgow (Scotland). Proc. pp.43-45.
- [2668] N.DELPRAT, P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET. Parameters estimation for non-linear resynthesis methods with the help of a time-frequency analysis of real sounds. International Computer Music Conference. Sept.10-15, 1990. Glasgow (Scotland). Proc. pp.88-90.
- [2669] J.C.RISSET. Exploration de la synthèse des sons par ordinateur de 1964 à 1969. Congrès Synthèse, 13-16 juin 1990. G.M.E.B., Bourges (France).
- [2670] J.C.RISSET. Conférence invitée : Some comments about future music machines. Meeting John Pierce, Nov.15-16, 1990. Northwestern University. (U.S.A.).
- [2671] J.C.RISSET. Conférence invitée : Speech and Music combined. international Wenner-Gren Symposium "Music, language, speech and brain". Sept.5-8, 1990. Stockholm (Sweden).
- [2680] G.BOUCHITTE, P.SUQUET. Equi-coercivity of variational problems. The role of recession functions. Séminaire au Collège de France. 1990. A paraître dans les Actes du Congrès.
- [2681] M.ABOUAF, J.BESSON, F.MAZEROLLE, P.SUQUET. Compressive creep tests on porous ceramic notched specimens. Symposium "Creep in Structures". Sept.1990. Cracovie (Pologne). dans les Actes du Symposium.
- [2682] P.SUQUET. Méthodes de calcul simplifiées pour la détermination des propriétés élastiques de composites à structure périodique. Colloque Mécat. Mars 1990. Evian (France).
- [2683] C.WIELGOSZ, J.C.MICHEL. Calcul des contraintes résiduelles après une opération de dudgeonnage. VIIème Colloque Franco-polonais sur "Les nouveaux aspects de la mécanique des matériaux élasto-plastiques". 2-6 Juillet 1990. Radziejowice. (Pologne).
- [2684] P.SUQUET. Optimisation de forme. Homogénéisation de frontière. Communication au Colloque "Les verrous de la modélisation pour l'ingénieur". 10-13 Septembre 1990. Grenoble (France).
- [2685] P.SUQUET. Growth of voids in a viscous matrix : effets of existing porosity and of a second population. Communication au Winter Annual Meeting de l'ASME. Session Damage Mechanics. Novembre 1990. Dallas, USA.
- [2689] S.BELLIZZI, F.CAMPILLO. Contrôle stochastique. Applications aux suspensions de véhicules routiers. Rencontre Franco-Belge de statisticiens. Novembre 1990. CIRM, Marseille (France).

[2691] M.RAOUS. Stratégie optimale dans l'utilisation des méthodes multigrilles en mécanique non linéaire. 4ème Colloque GRECO-GIS "Calcul des Structures". 15-18 mai 1990. Giens (France).

[2692] M.RAOUS. Matériau de surface indéfinissable dans le contact avec frottement. Colloque "Les verrous de la modélisation pour l'ingénieur". 10-13 Septembre 1990. Grenoble (France).

[2700] O.DEBORDES, C.WIELGOSZ. Refined mixed element for the Poisson equation in two dimensions. Congrès Polonais de Mécanique des Solides, sept.1990. Actes, pp.271-272.

[2707] P.CHABRAND, Y.PINTO. Comparaison de méthodes de traitement du contact avec frottement en élasto-plasticité et grandes déformations. Application à la mise en forme. VIIème Colloque Franco-Polonais sur "Les nouveaux aspects de la mécanique des matériaux élasto-plastiques", 2-6 juillet 1990. Radziejowice (Pologne).

III.5 Thèses soutenues

Année 1987.

[2361] A.BENCHAALA. Contribution à l'étude de matériaux composites de type stratifié par voie ultrasonore : essais de caractérisation par la dispersion de vitesse. 10 avril 1987. Doctorat d'Etat.

[2369] P.GAITAN. Equations intégrales en acoustique : étude des singularités et convergence des algorithmes numériques. 14 mai 1987. Doctorat d'Etat.

[2372] J.PIRAUX. Application des méthodes actives au cobntrôle d'un champ acoustique. 10 juin 1987. Doctorat d'Etat.

[2376] M.A.KARRAY. Etude de l'efficacité d'un système d'isolation à la base avec amortissement par plasticité. 1er juillet 1987. Nouveau doctorat.

[2377] F.OLIVIER. Méthode d'analyse spectrale à haute résolution appliquées à l'imagerie de sources d'ondes planes. 2 juillet 1987. Doctorat Spécialité : Acoustique.

[2378] C.CARME. Absorption acoustique active dans les cavités. 10 juillet 1987. Doctorat Spécialité : Acoustique.

[2382] S.SAPIR. Processeurs audio-numériques temps réel et informatique musicale : mise en oeuvre d'un système d'exploitation et utilisations pour la recherche, la production et la pédagogie musicales. (2 volumes). 25 septembre 1987. Doctorat d'Etat.

[2419] A.CHRYSOCHOOS. Dissipation et blocage d'énergie lors d'un écrouissage en traction simple. 16 mars 1987. Doctorat d'Etat.

Année 1988.

[2449] A.BRABANT. Présentation de quatre méthodes d'inversion en tomographie océanique. 27 juin 1988. Nouveau doctorat.

[2454] J.SLAMA. Sur une méthode de décomposition d'un champ sonore aléatoire stationnaire. 1er juillet 1988. Nouveau doctorat.

[2459] M.HAJAR. Equation d'évolution et bilans énergétiques en viscoélasticité linéaire, étude dans le cadre de la thermodynamique des matériaux à mémoire évanescence. 26 septembre 1988. Nouveau doctorat.

[2486] A.BOUKAMEL. Etude théorique et expérimentale d'un stratifié caoutchouc-acier en grandes déformations. 30 septembre 1988. Nouveau doctorat.

[2512] M.GHAZOUANE. Méthodes d'intégration numérique en viscoplasticité. 4 novembre 1988. Nouveau doctorat.

Année 1989.

[2543] F.LEBON. Résolution numérique de problème de frottement de Coulomb. Accélération de convergence par une méthode multigrille interne. 17 février 1989. Nouveau doctorat.

[2547] R.KRONLAND-MARTINET. Analyse, synthèse et transformation de signaux sonores application de la transformée en ondelettes. 21 juin 1989. Doctorat d'Etat.

[2554] L.BRIZE-TRAMONI. Diffusion acoustique par des coques sphériques à parois minces. 27 juin 1989. Nouveau doctorat.

[2555] B.MASSOUTI. Contribution à la réalisation en temps réel de la séparation des composantes acoustique et turbulente d'un signal microphonique. 28 juin 1989. Nouveau doctorat.

[2564] H.JAFFAL. Etude numérique, via l'homogénéisation, du comportement élasto-viscoplastique d'un composite à matrice métallique et à fibres courtes. Une application à la mise en forme. 28 septembre 1989. Nouveau doctorat.

[2575] G.SARACCO. Propagation acoustique en régime harmonique et transitoire à travers un milieu inhomogène méthodes asymptotiques et transformation en ondelettes. 19 octobre 1989. Nouveau doctorat.

Année 1990.

[2621] S.MENSAH. Tomographie ultrasonore en réflexion. Application à l'imagerie médicale. 28 mars 1990. Nouveau doctorat.

[2622] G.RABAU. Modèles Géoacoustiques. 29 juin 1990. Nouveau doctorat.

[2623] J.P.COL. Localisation auditive d'un signal et aspects temporels de l'audition spatiale. 18 septembre 1990. Nouveau doctorat.

[2624] P.VIDORET. Interaction d'une onde acoustique plane avec un réseau plan simplement ou doublement périodique par la technique des équations intégrales discrétisées. 8 novembre 1990. Nouveau doctorat.

[2625] G.TONETTO. Etude numérique et expérimentale des écoulements post-valvulaires. 26 novembre 1990. Nouveau doctorat.

[2697] Y.PINTO. Contact et frottement en grandes déformations plastiques. Application au serre-flan en emboutissage. 5 décembre 1990. Nouveau doctorat.

[2699] R.PEYROUX. Caractéristiques thermoélastiques de matériaux composites à fibres courtes. Mai 1990. Nouveau doctorat.

III.6 Brevets

Année 1987.

Noms des déposants : C.CARME, A.ROURE.

Extension en mars 1987 à l'Europe, au Japon et aux Etats-Unis du brevet déposé en mars 1986 en France sous le titre :

"Procédé et dispositif pour atténuer les bruits d'origine externe arrivant au tympan".

Brevet exploité par l'ANVAR.

Année 1988.

Noms des déposants : Th.ANGELINI, G.CANEVET, M.FOTI, F.SANTON.

Titre du brevet "Earpiece, telephone handset and headphone intended to correct individual hearing deficiencies". (Extension du brevet "Téléphone à correction auditive", déposé en septembre 1984).

Date du dépôt Août 1988.

Brevet déposé à l'étranger.

Brevet exploité par l'ANVAR.

III.7 Rapports de fin de contrats

Année 1987.

Responsable : R.BOUC
Origine : INRIA
Objet : Mettre au point des méthodes de calcul d'un contrôle semi-actif de suspension de véhicules.
N° Contrat : 171
Fin : 87/10

Responsable : R.BOUC
Origine : CNRS
Objet : GRECO 47 grandes déformations endommagement.
N° Contrat : AIP 1418
Fin : 87/11

Responsable : G.CANEVET
Origine : MRT
Objet : Actions régionales Psychoacoustiques.
N° Contrat : 132
Fin : 87/08

Responsable : G.CANEVET
Origine : DCAN
Objet : Analyse des résultats de mesures de la machine SYTER.
N° Contrat : 181
Fin : 87/09

Responsable : G.CANEVET
Origine : DCAN
Objet : Système mobile de tests. Psychoacoustique.
N° Contrat : 500120
Fin : 87/09

Responsable : G.CANEVET
Origine : DCAN
Objet : Recherches d'indices acoustiques intervenant dans la localisation auditive.
N° Contrat : 191
Fin : 87/12

Responsable : O.DEBORDES
Origine : DRET
Objet : Etude du flambement élastoplastique dynamique.
N° Contrat : 500071
Fin : 87/10

Responsable : P.FILIPPI
Origine : MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT
Objet : Modélisation et traitement acoustique d'une source de bruit.
N° Contrat : 500099
Fin : 87/04

Responsable : P.FILIPPI
Origine : DRET
Objet : Rayonnement acoustique de structures vibrantes cylindriques.
N° Contrat : 500100
Fin : 87/06

Responsable : C.GAZANHES
Origine : THOMSON-SINTRA
Objet : Rideau de bulles absorbeur dans la gamme de fréquence 5 à 20 KHz.
N° Contrat : 112
Fin : 87/05

Responsable : C.GAZANHES
Origine : DRET
Objet : Propagation acoustique sous-marine en cuve.
N° Contrat : 500117
Fin : 87/08

Responsable : C.GAZANHES
Origine : DCAN
Objet : Rétrodiffusion par des sphères de différents matériaux.
N° Contrat : 177
Fin : 87/09

Responsable : C.GAZANHES
Origine : DCAN
Objet : Cuve acoustique. Transmission air-eau.
N° Contrat : 500154
Fin : 87/09

Responsable : D.HABAULT
Origine : EDF
Objet : Résonateurs de Helmholtz.
N° Contrat : 500142
Fin : 87/05

Responsable : M.JAEGER
Origine : DCAN
Objet : Bourse jeune chercheur. Modélisation numérique des écoulements turbulents incompressibles par éléments finis.
N° Contrat : 159
Fin : 87/09

Responsable : R.KRONLAND-MARTINET
Origine : LA VILLETTE
Objet : Etude de faisabilité de la machine à sculpter.
N° Contrat : 207
Fin : 87/12

Responsable : H.J.LATIERE
Origine : MRT
Objet : Tomodensitométrie dans le cadre de la filière bois.
N° Contrat : 79
Fin : 87/07

Responsable : H.J.LATIERE
Origine : CNRS
Objet : PIRMAT Transfert scanner.
N° Contrat : AIP 1414
Fin : 87/09

Responsables : F.LEBON & M.RAOUS
Origine : TECHNICATOME
Objet : Etude prospective d'une fermeture de cuve
 de réacteur avec modélisation du contact
 unilatéral et du frottement sur les portées
 de serrage.
N° Contrat : 7051
Fin : 87/02

Responsable : B.NAYROLES
Origine : MRT
Objet : Actions Régionales Absorption Acoustique Active.
N° Contrat : 131
Fin : 87/02

Responsable : M.RAOUS
Origine : ONERA
Objet : Contact unilatéral ou viscoplasticité. Applications à des structures fissurées soumises à de hautes températures.
N° Contrat : 7051
Fin : 87/04

Responsable : M.RAOUS
Origine : CNRS
Objet : GRECO 47 Grandes déformations endommagement.
N° Contrat : AIP 1417
Fin : 87/10

Responsable : M.RAOUS
Origine : INSA
Objet : Modélisation numérique des ondes de glissement dans un contact adhésif.
N° Contrat : 1/7051/IC
Fin : 87/10

Responsable : A.ROURE
Origine : TECHNICATOME
Objet : Etude de faisabilité de l'application des techniques d'absorption mécanique active à la minimisation des vibrations produites par une pompe de circulation.
N° Contrat : 194
Fin : 87/12

Responsable : J.P.SESSAREGO
Origine : DRET
Objet : Diffusion acoustique par des coques sphériques à parois minces.
N° Contrat : 500139
Fin : 87/08

Année 1988.

Responsable : R.BOUC
Origine : M.R.T.-DEFENSE NATIONALE
Objet : Etude Psycho-acoustique d'un échantillon de signaux d'appel d'attention.
N° Contrat : 203
Fin : 88/01

Responsables : R.BOUC & J.C.CHEZEAUX

Origine : RVI
Objet : Recherche exploratoire de détection de contraintes par une technique infrarouge sur véhicule industriel.
N° Contrat : 185
Fin : 88/03

Responsable : R.BOUC
Origine : TECHNICATOME
Objet : Absorption des vibrations par une méthode active.
N° Contrat : 245
Fin : 88/12

Responsable : R.BOUC
Origine : IBM
Objet : Cartographie intensimétrique de chacune des unités composant un système 3090.
N° Contrat : 257
Fin : 88/11

Responsables : A.CAGNASSO & H..LATIERE
Origine : DRET
Objet : Application du tomodensitomètre à rayons X et de l'imagerie RMN au contrôle des matériaux.
N° Contrat : 500064
Fin : 88/01

Responsable : P.FILIPPI
Origine : INRETS
Objet : Impact des basses fréquences sur les riverains de voies routières.
N° Contrat : 258
Fin : 88/12

Responsable : P.FILIPPI
Origine : INRETS
Objet : Le bruit intérieur aux cabines de véhicules lourds.
N° Contrat : 259
Fin : 88/12

Responsables : P.FILIPPI & J.PIRAUX
Origine : EDF
Objet : Modélisation d'une source de bruit en présence de réflecteurs.
N° Contrat : 189
Fin : 88/07

Responsable : C.GAZANHES
Origine : ECAN
Objet : Etude de faisabilité concernant la caractérisation de sillage par voie acoustique.
N° Contrat : 182
Fin : 88/09

Responsable : C.GAZANHES
Origine : DCAN
Objet : Transmission acoustique air-eau et environnement marin. Réalisation d'un générateur de houle dans la grande cuve océanique et études préliminaires à la réalisation de bathycélérimétrie et de fonds marins.
N° Contrat : 500191
Fin : 88/12

Responsable : H.LATIERE
Origine : ITMA
Objet : Recherches sur l'adaptation d'un tomodensitomètre X à l'étude des matériaux composites à matrice polymère.
N° Contrat : 214
Fin : 88/11

Responsables : F.LEBON & M.RAOUS
Origine : TECHNICATOME
Objet : Théorie de contact unilatéral avec frottement, appliquée à une fermeture mécanique.
N° Contrat : 178
Fin : 88/06

Responsable : V.MARTIN
Origine : MRT
Objet : GRECO Calcul des structures. Couplage de propagations d'ondes mécaniques.
N° Contrat : 152
Fin : 88/02

Année 1989

Responsables : S.BELLIZZI & R.BOUC
Origine : REGIENOV
Objet : Calcul d'un contrôle semi-actif de suspension de véhicule (cas d'une cabine de camion).
N° Contrat : 212
Fin : 89/04

Responsable : R.BLANC
Origine : AEROSPATIALE MARIGNANE
Objet : Mesure de caractéristiques viscoélastiques
 dynamiques de poutres.
N° Contrat : 90/01
Fin : 89/05

Responsable : M.BLANC
Origine : VIBRACHOC
Objet : Mesures de caractéristiques mécaniques.
N° Contrat : 88/04
Fin : 89/05

Responsable : R.BOUC
Origine : INRIA
Objet : Mise au point de sous-programmes (FORTRAN) mettant
 en oeuvre les techniques récentes de l'analyse spectrale et
 du traitement du signal.
N° Contrat : 264
Fin : 89/07

Responsable : R.BOUC
Origine : MRT
Objet : Méthodes numériques pour les systèmes différentiels à
 coefficients périodiques. Applications à un rotor
 industriel.
N° Contrat : 184
Fin : 89/10

Responsable : R.BOUC
Origine : SECAV
Objet : Faisabilité de la minimisation par une méthode active du rayonnement acoustique des premiers modes d'une paroi métallique.
N° Contrat : 234
Fin : 89/10

Responsables : P.CHABRAND, Y.PINTO & M.RAOUS
Origine : REGIENOV-RENAULT
Objet : Modélisation de l'effet de serre-flan avec ou sans jonc en emboutissage.
N° Contrat : 179
Fin : 89/08

Responsable : G.DELFOSSE
Origine : BUTAGAZ
Objet : Etude de la résistance aux séismes d'une sphère de butane de 500 m3.
N° Contrat : 279
Fin : 89/08

Responsables : P.FILIPPI & J.PIRAUX
Origine : CNES
Objet : Modélisation du champ acoustique émis par un jet.
N° Contrat : 500202
Fin : 89/12

Responsable : C.GAZANHES
Origine : DRIR PACA
Objet : Productique océanique.
N° Contrat : 500211
Fin : 89/11

Responsable : C.GAZANHES
Origine : ECAN
Objet : Etude de faisabilité concernant la caractérisation de sillage
 par voie acoustique.
N° Contrat : 251
Fin : 89/11

Responsable : D.HABAULT
Origine : MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT
Objet : Etude de la propagation dans un sol
 modélisé.
N° Contrat : 500158
Fin : 89/05

Responsable : R.KRONLAND-MARTINET
Origine : DIGILOG
Objet : Etude et réalisation d'une bibliothèque de logiciels
 scientifiques exploitant la théorie de la transformation en
 ondelettes pour l'analyse et la resynthèse de signaux.
N° Contrat : 211
Fin : 89/11

Responsable : R.KRONLAND-MARTINET
Origine : DRET
Objet : Modélisation de signaux en vue de la resynthèse
 numérique à partir de l'analyse de sons naturels.
 Applications de la transformée en ondelettes.
N° Contrat : 500228
Fin : 89/12

Responsables : J.P.LEFEBVRE & P.RECOTILLET
Origine : ANVAR
Objet : Tomographie ultrasonore assistée par ordinateur (Scanner à ultrasons).
N° Contrat : 500196
Fin : 89/10

Responsables : P.LUCET & R.BOUC
Origine : VILLE DE MARSEILLE
Objet : Etude acoustique concernant l'implantation de la future salle de spectacles de la Ville de Marseille.
N° Contrat : 311
Fin : 89/12

Responsable : V.MARTIN
Origine : MRT
Objet : Couplage de propagation d'ondes mécaniques.
N° Contrat : 152
Fin : 89/09

Responsables : G.RABAU, J.LEANDRE, & J.P.HERAULT
Origine : DCAN
Objet : Simulation de l'environnement en acoustique sous-marine.
N° Contrat : 500238
Fin : 89/06

Responsables : G.RABAU, J.LEANDRE & J.P.HERAULT
Origine : DCAN
Objet : Simulation de l'environnement en acoustique sous-marine.
N° Contrat : 500238
Fin : 89/12

Responsables : M.RAOUS & S.TOPIN
Origine : DRET/INSA
Objet : Modélisation théorique et numérique des
 ondes de glissement dans un contact adhésif
N° Contrat : 1/7051/IC
Fin : 89/06

Responsables : P.RECOTILLET, S.MENSAH, P.LASAYGUES,
 J.P.LEFEBVRE
Origine : ANVAR
Objet : Tomographie ultrasonore assistée par
 ordinateur (scanner à ultrasons).
N° Contrat : 9200
Fin : 89/10

Responsable : J.C.RISSET & D.ARFIB
Origine : Ministère de la Culture &
 de la Communication.
Objet : Synthèse et traitement des sons musicaux sur micro-
 ordinateurs compatibles IBM-PC.
N° Contrat : 176
Fin : 89/04

Responsable : J.C.RISSET
Origine : DCAN
Objet : Etude et réalisation de logiciels de synthèse et d'analyse
 de sons.
N° Contrat : 500113
Fin : 89/09

Année 1990.

Responsable : A.ALBARRAZIN & R.BOUC
Origine : RENAULT
Objet : Identification du comportement dynamique des mousses polyuréthanes.
N° Contrat : 288
Fin : 90/01

Responsable : S.BELLIZZI & R.BOUC
Origine : REGIENOV
Objet : Calcul d'un contrôle semi-actif de suspension de véhicule (cas d'une cabine de camion).
N° Contrat : 280
Fin : 90/06

Responsable : R.BOUC
Origine : REGIENOV
Objet : Faisabilité d'un contrôle actif ou semi-actif de groupe moto propulseurs.
N° Contrat : 335
Fin : 90/12

Responsable : P.CHABRAND
Origine : REGIENOV
Objet : Tests comparatifs de plusieurs méthodes de traitement du contact avec frottement dans le contexte des grandes déformations plastiques.
N° Contrat : 332
Fin : 90/12

Responsable : O.DEBORDES
Origine : ANVAR. Aide à l'innovation.
Objet : Développement d'un logiciel spécifique de modélisation pour la mise en forme de solides minces ou massifs.
N° Contrat : 500176
Fin : 90/05

Responsable : O.DEBORDES & J.C.MICHEL
Origine : REGIENOV/IMT
Objet : Etude de faisabilité de la résolution de problèmes fortement non linéaires (éléments finis) sur une architecture parallèle à quelques dizaines de transputers.
N° Contrat :
Fin : 90/10

Responsable : G.DELFOSSE
Origine : NAPHTACHIMIE
Objet : Calcul sismique d'un réservoir de propane sur berceaux.
N° Contrat : 327
Fin : 90/02

Responsable : P.FILIPPI
Origine : DCN/GERDSM
Objet : Modélisation de l'interaction entre une onde acoustique plane et un réseau bidimensionnel d'inclusions.
N° Contrat : 500293
Fin : 90/09

Responsable : P.FILIPPI
Origine : DRET
Objet : IXèmes Journées d'Etudes Sur la Propagation Acoustique.
N° Contrat : 500318
Fin : 90/12

Responsable : P.FILIPPI
Origine : CONSEIL REGIONAL PACA
Objet : IXèmes Journées d'Etude Sur la Propagation
 Acoustique.
N° Contrat :
Fin : 90/12

Responsable : D.HABAULT
Origine : DCN/GERDSM
Objet : Diagramme de diffraction acoustique d'une
 maquette.
N° Contrat : 500312
Fin : 90/06

Responsable : R.KRONLAND-MARTINET
Origine : LES ALGORITHMES
Objet : Calcul de la transformée en ondelettes de signaux produits
 par des écoulements diphasiques intermittents;
N° Contrat : 90/03
Fin : 90/07

Responsable : J.P.LEFEBVRE & P.RECOTILLET
Origine : EDF
Objet : Etude par tomographie ultrasonore d'une fissure sous
 revêtement.
N° Contrat : 89/08
Fin : 90/07

Responsable : G.RABAU, J.LEANDRE, J.P.HERAULT
Origine : DCAN
Objet : Simulation de l'environnement en acoustique sous marine.
N° Contrat : 500238
Fin : 90/12

Responsables : A.ROURE & R.BOUC
Origine : SMILE
Objet : Etude de la faisabilité sur la minimisation du bruit de l'aspiration moteur et de la ventilation interne par des techniques actives.
N° Contrat : 283
Fin : 90/08

Responsables : A.ROURE & R.BOUC
Origine : MICHELIN
Objet : Contrôle actif, dans un véhicule, du bruit de sculpture de pneumatiques.
N° Contrat : 321
Fin : 90/12

Responsable : J.P.SESSAREGO & J.SAGELOLI
Origine : DRET
Objet : Etude numérique et expérimentale des résonances d'une coque sphérique très mince.
N° Contrat : 500206
Fin : 90/03

III.8 Notes ou rapports internes

III.8.1.- Notes internes L.M.A.- ISSN 0750-7356

Année 1987.

Note n°104.- Décembre 1987.

G.CANEVET : Perception auditive spatiale. Données psychoacoustiques et modélisation.

Année 1988.

Note n°105 - Septembre 1988.

Actes de la Première Rencontre Franco-Japonaise sur le Traitement de l'Information Acoustique.

Proceedings of the First France-Japan Joint Meeting on Acoustic Information Processing.

C.N.R.S.- L.M.A. Marseille - 5 septembre 1988.

Conférenciers :

M.OHTA : Signal Processing in Acoustic Systems. An Introduction.

M.JESSEL : From Huygens' Principle to "Huygens' Machines".

K.HATAKEYAMA, M.OHTA, B.SOENARKO : An Identification Method of Arbitrary Stochastic System Based on Bayes' Theorem and Information Criterion. Signal Processing in Countermeasures for Modelling Errors and Background Noise.

A.IKUTA, M.OHTA, K.HATAKEYAMA : An Identification Method of Acoustic Parameters for Coupled Rooms with Environmental Noise Excitation and a Prediction of Output Probability Distribution.

N.NAKASAKO, M.OHTA, B.SOENARKO : A Background Noise Correction Method Based on the Dynamic State Estimation Algorithm for Actually Observed Data with Arbitrary Amplitude Constraint.

E.UCHINO, M.OHTA, K.HATAKEYAMA : A Unified State Estimation Method for Stochastic Environmental System Based on the Quantized Level Measurement with Background Noise. General Theory and its Applications to RoomAcoustic.

H.MINAMIHARA, M.OHTA, M.NISHIMURA : An Estimation Method of a Probability Distribution for an Arbitrary Random Noise or Vibration with Amplitude Limitations.

K.NISHIMURA, M.OHTA, T.FUKUDA : Evaluation Method of L_{eq} Based on the Non-Gaussian and/or Non-Stationary Properties of Noise Fluctuation.

N.TAKAKI, M.OHTA, A.IKUTA : A Practical Method for the Probability Expression of Arbitrary Fluctuation Type Road Traffic Noise Based on the Hierarchical Approximation of Standard Poisson Type Traffic Flow.

A.ROURE : Fast Algorithms in Active Noise and Vibration Control.

S.MAZZANTI, J.PIRAUX : Active Noise Attenuation in Space Case of a Broadband Signal.- Absorption Acoustique Active dans l'espace traitement d'un signal large bande.

G.CANEVET : Auditory Space Perception under Earphone Listening.

Note n°106 - Octobre 1988.

Journées Scientifiques et Techniques en Acoustique Sous-Marine - 18-19 octobre 1988.

Responsable C.GAZANHES.

Conférenciers :

M.SOULIE (Thomson-Sintra, Valbonne Sophia-Antipolis) : Revue des nouveaux matériaux piézoélectriques et comparaison de leurs performances respectives.

Mme GAILLARD, M.BELLAMY, M.BIALE (Société PONS, Aubagne) - Conf. présentée par M.BARTHELEMY : Les matériaux piézoélectriques PONS.

M.VANDERSCHAEGHE (Société PONS, Aubagne) : Les nouveaux matériaux magnétiques utilisés pour les transducteurs destinés à l'acoustique sous-marine.

M.CHING (Thomson-Sintra, Valbonne Sophia-Antipolis) : Modélisation dynamique tridimensionnelle d'un système de câbles.

M.ZAKHARIA (I.C.P.I. LTS, Lyon) Sondeur de pêche large bande.

Mlle BOULHIER (IFREMER, La Seyne) : Les antennes synthétiques en acoustique sous-marine.

M.CERVENKA (Lab. Mécanique Physique & Expérimentale, St Cyr l'Ecole) : Quelques applications de l'acoustique non-linéaire. Conséquences de la saturation et l'optimisation de sonars panoramiques.

M.MAZOYER, M.AUDET, M.GUYOMAR (Thomson-Sintra, Valbonne Sophia-Antipolis) : Collocation sur décomposition sérielle du champ acoustique.

M.ARZELIES (IFREMER, La Seyne) : Sonar panoramique rapide "SPATH".

M. DI CROCCO, M.THOMAS, M.MONTSAINGEON (Software Based Systems, Meyreuil) : Industrialisation du sonar "SPATH". Choix technologiques et miniaturisation.

M.MOUGENOT (Lab. de Géodynamique sous-marine, Villefranche sur Mer) : Reconnaissance du sous-sol marin par comparaison d'images acoustiques.

M.TACONI, M.CUNEO, M.GRASSIA, M.TIANO (Universita di Genova, Italia) : Acoustic ship noise estimation from vessel traffic monitoring.

M.LAPEYRE (Groupe DIGITONE, Fuveau) : LOTUS Liaison de transport de données numériques pour le traitement du signal multiprocesseur.

C.ANTOINE, L.MONSAINGEION (Sté SBS, Meyreuil), G.NOLIBE (Lab. d'automatique et d'Informatique Appl., Univ. de Toulon) : Sur une Méthode de Définition d'Opérateurs de Traitement du Signal en Temps Réel.

Note n°107 - Novembre 1988.

Rapport d'Activité du L.M.A. - Année 1987.

Note n°108 - Novembre 1988.

Textes des Exposés présentés au Comité Scientifique du L.M.A. le 8 novembre 1988.

J.C.RISSET : Développements récents en Informatique et Psychoacoustique Musicale.

P.FILIPPI : Rayonnement acoustique de structures vibrantes : application aux coques cylindriques.

F.LEBON : Résolution numérique de problèmes de frottement de Coulomb. Accélération de convergence par une méthode multigrilles interne.

S.BELLIZZI : Contrôle paramétrique adaptatif d'une suspension de véhicule avec frottement.

Année 1989.

Note n°109 - Avril 1989.

C.GAZANHES : Cours d'Acoustique Sous-Marine.

Tome 1 Acoustique sous-marine et traitement du signal.

Note n°111.- Juin 1989.

J.MADEJ (Instytut Mechanika Budowli, Politechnika Krakowska) : Rapport du stage scientifique effectué au L.M.A. (Equipe MMN) du 1.2.1988 au 30.09.1988.

Etude prospective de caractérisation thermique de zones endommagées d'une éprouvette de fatigue.

Note n°112 - Juin 1989.

P.GUILLEMAIN, R.KRONLAND-MARTINET (L.M.A.) & B.MARTENS (Institut de Physique Théorique, Univ. Catholique de Louvain, Belgique) : Application de la transformée en ondelettes en spectroscopie R.M.N.

Note n°113 - Juillet 1989.

J.P.HERAULT : Etude des milieux stratifiés modélisation géoacoustique.

Note n°114 - Octobre 1989.

P.O.MATTEI : Vibrations des structures élastiques. Approximation corps minces.

Note n°115 - Septembre 1989.

Journées Scientifiques en Acoustique Sous Marine (LMA-DRIR-PACA),
28 septembre 1989.

Responsable C.GAZANHES.

Conférenciers :

P.ARZELIES (IFREMER, Toulon) : Quelques remarques sur les diagrammes d'antennes complexes.

P.ALAIS, P.CHALLANDE (Lab. Mécanique Physique, St Cyr l'Ecole) : Développement d'un imageur frontal ultrasonore sous-marin.

R.SALVETAT, Y.GARANDEL, B.ARAGON, J.P.GUILHOT (LAMI, Toulouse) & J.N.TOURNEQ (Lab. d'Hydrobiologie, Toulouse) : Etude et réalisation d'une instrumentation à base d'échosondeur en vue de l'évaluation de la biomasse d'une retenue.

Mlle O.GERARD, C.GAZANHES : Etude acoustique d'un rideau de bulles.

P.CRISTINI, J.L.GARNIER, C.GAZANHES : Rôle du coefficient de réflexion dans la propagation sonore en eau peu profonde sur fonds stratifié.

Mme V.CARDIN (ESIM, Marseille) Améliorations des performances des systèmes de fonctionnement base courte et base ultra-courte.

C.LHUIILLIER, J.L.BERTON, J.P.GIRARD (CEA-CEN, Cadarache) : Applications des ultrasons dans les réacteurs nucléaires surgénérateurs.

C.LOCQUETEAU : Diffraction par des cibles triplanes.

Note n°116 - Novembre 1989.

Rapport d'Activité du L.M.A.- Année 1988.

Note n°117 - Novembre 1989.

Textes des exposés présentés au Comité Scientifique du L.M.A. le 14 novembre 1989.

P.SUQUET : Matériaux et structures hétérogènes. (Texte non parvenu).

P.CHABRAND : Modèle de contact de frottement pour la mise en forme.

G.SARACCO : Propagation acoustique à travers un milieu inhomogène - Méthodes asymptotiques et transformation en ondelettes.

J.P.SESSAREGO : La diffusion acoustique par des cibles bilan et orientations futures. (Texte non parvenu).

J.P.LEFEBVRE : Problèmes inverses de diffusion et de propagation en imagerie et contrôle des matériaux quelques résultats théoriques et expérimentaux.

D.HABAULT : Propagation d'ondes dans un sol application aux problèmes de nuisance dans l'environnement.

Note n°118 - Décembre 1989.

J.BLAUERT (Lehrstuhl für allgemeine Elektrotechnik & Akustik, Ruhr-Universität Bochum) & J.P.COL : Etude de quelques aspects temporels de l'audition spatiale.

Année 1990.

Note n°119.- Juillet 1990.

F.SANTON.: Coloration d'un bruit blanc et de bandes de bruit apportée par un écho de même direction frontale.

Note n°120.- Novembre 1990.

Rapport d'Activité du L.M.A.- Année 1989.

III.8.2.- Rapports de D.E.A.

Année 1987.

D.E.A. "Acoustique & Dynamique des Vibrations"

Univ. Aix-Marseille II.- Faculté des Sciences de Luminy.

Rapports de stage.- Juillet 1987.

P.BLANC : Absorption mécanique active par contrôle diagonal synchrone.

B.BOURGEOIS : Rayonnement acoustique d'une plaque vibrante.

P.L.BUAT : Etude des phénomènes de dispersion acoustique dans un milieu multicouches.

P.CRISTINI : Etude de la propagation sous-marine par petits fonds.

A.DOLLE : Trajectographie acoustique.

O.GERARD : Etude large bande d'un milieu diphasique eau-bulles d'air.

P.MATTEI : Simulation numérique de l'écoulement post-valvulaire derrière une prothèse à disque en position aortique.

P.RECOTILLET : Tomographie ultra-sonore. Etude de divers filtres de reconstruction.

Année 1988.

D.E.A. "Acoustique et Dynamique des Vibrations"

Univ. Aix-Marseille II - Faculté des Sciences de Luminy.

Rapports de stage.- Juillet 1988.

S.COSTE : Rayonnement acoustique de structures vibrantes.

N.DELPRAT : Etude de trois types de transformations sonores sur micro-ordinateur.

P.DUTILLEUX : Mise en oeuvre de transformations sonores sur un système temps réel.

A.IDDIR : Mesures des tensions de frottement sur plaque plane rigide.

R. NGUYEN VAN LAN : Ondes thermiques : application aux contrôles non destructifs.

S.NOTHHELPER : Caractérisation de matériaux magnétostrictifs.

M.PICHOT : Etude approfondie du coefficient de réflexion d'un fond marin modélisé.

P.PLANTIN DE HUGUES : Contribution à l'étude aéroacoustique de l'interaction pale-tourbillon d'un rotor d'hélicoptère en vol de descente.

J.L.TEISSIER : Etude d'un système actif de réduction du bruit dans une soufflerie.

Etudiants E.S.I.M.

V.DERLON : Modélisation d'antenne linéaire pour l'Acoustique Sous-Marine (Publication D.C.A.N. n°57976 ET/LD du 22.07.1988).

E.LECOINTE : Imagerie par synthèse d'ouverture. Emission d'un signal large bande appliquée à une synthèse d'ouverture.

C.LOCQUETEAU : Faisabilité du filtrage adapté pour le sonar haute fréquence visus en présence de réverbération causée par des microbulles de gaz.

G.LENA : Simulation de modélisation de source en présence de surfaces réfléchissantes.

A.ROBIN : Modélisation numérique d'écoulement autour de voiles. Interaction bidi-trimensionnelle entre les voiles.

D.E.A. "Mathématiques Appliquées".

Thème "Analyse Numérique, Mécanique, Analyse convexe".

Univ. de Provence (Aix-Marseille I)- Faculté des Sciences St Charles.

Rapports de stage.- Juin 1988.

D.PARIENTE : Accélération de l'algorithme de Cryer Christopherson par un procédé de Aitken.

S.TOPIN : Modélisation numérique d'ondes de Schallamach.

Année 1989.

D.E.A. "Acoustique et dynamique des vibrations.

Université Aix-Marseille II.- Institut de Mécanique de Marseille.

Rapports de stage.- Juillet 1989.

E.BAZIN : Algorithmes adaptatifs rapides pour la minimisation d'un champ acoustique ou vibratoire présentant un spectre de raies.

P.LASAYGYES : Prétraitement des données en échographie ultrasonore.

R.PAPI : Couplage fluide-structure une première approche du calcul du rayonnement acoustique d'une plaque dans le cadre de l'approximation "fluide léger".

A.TEKATLIAN : Etude comparative de deux outils de traitement du signal application à la modélisation d'un champ acoustique.

J.P. VAN CUYCK : "Ondes" thermiques et matériaux stratifiés.

Etudiants E.S.I.M.

V.CARDIN : Amélioration des performances des systèmes de positionnement base courte et base ultra-courte.

T.CHABERNAUD : Evaluation of spectral methods for the estimation of attenuation measurements from sonic log waveforms.

L.GUERRE : Une nouvelle méthode de détection en 3D d'événements sismiques d'hydrofracturation.

P.JANJAUD : Etude du rayonnement acoustique d'un émetteur piézoélectrique à l'aide d'un programme en différences finies.

F.LOUVETY : Etude du bruit quadrupolaire rayonné par des hélices rapides simples ou contrarotatives. Analyse et modélisation des sources de bruit.

F.MORTIER : Modélisation de transducteurs piézoélectriques annulaires.

I.VALENTIN : Modélisation numérique pour une étude de faisabilité biofonctionnelle d'implants dentaires.

R.VAUCHER : Modélisation éléments finis de l'influence thermo-mécanique de l'interface pièce/moule sur les pièces de fonderie.

D.E.A. "Mathématiques Appliquées"

Thème "Analyse Numérique, Mécanique, Analyse convexe"

Univ. de Provence (Aix-Marseille I), Faculté des Sciences St Charles.

Rapport de stage.- Septembre 1989.

A.BERRY : Gradient conjugué avec préconditionnement pour un problème d'élasticité.

Année 1990.

D.E.A."Acoustique et dynamique des vibrations".

Université Aix-Marseille II.- Institut de Mécanique de Marseille.

Rapports de stage.- Juillet 1990.

V.ALARY : Influence des défauts dans les soudures sur l'intégrité des structures off-shore.

P.ARMAND : Etude de la diffraction d'une onde sonore sphérique par un dièdre. Introduction à la diffraction par un double dièdre.

E.BERTHOZAT : Essai de fonctionnement sur maquette d'une suspension Sarib3.

E.CAUSSE : Détermination of distance and velocity from scaled acoustic logs for the poslog tool.

F.DUBOIS : Etude complète du test de frottement plan-plan. Comparaison de différentes méthodes numériques.

P.DUGAST : Analyse mécanique du comportement d'une source sismique de fond.

C.GERRI : Amélioration de la tenue en fatigue sous condition de fretting corrosion d'aciers et d'alliages de titane.

P.GUILLEMAIN : Analyse et modélisation de signaux acoustiques. Applications de la transformée en ondelettes.

O.LAGARRIGUE : Couplage fluide-structure : méthode de perturbation appliquée au calcul des mouvements d'une plaque infinie.

D.MAZZONI : Modélisation de sources aléatoires. Etude préliminaire.

P.MOULIN : Polygone de mesure en Acoustique Sous-Marine.

J.SVAY : Essais pour la validation du programme de migration avant stack FARS. Remarque sur les critères d'optimisation pour le modèle de vitesse.

J.VINCENTI : Calcul de modes propres de vibrations de pale.

O.VOISIN-GRALL : Modélisation de l'impact basse vitesse sur composite carbone époxyde.

D.E.A. "Mathématiques Appliquées"

Thème "Analyse numérique, Mécanique, Analyse convexe"

Univ. de Provence (Aix-Marseille I), Faculté des Sciences St Charles.

Rapports de stage. - Septembre 1990.

L.ELENA : Gradient conjugué pour le contact unilatéral et analyse mécanique simplifiée du comportement de surface d'une tôle en emboutissage.

L.GRECO : Génération de maillages pour les méthodes multigrilles et raffinement localisé.

Rapport de stage de maîtrise. Septembre 1990.

J.M.RUGGIERI : Modélisation théorique et numérique d'ondes de glissement dans un contact adhésif.

III.8.3.- Autres notes.

Année 1987.

P.J.BUAT. Rapport Scientifique du Contingent relatif au contrat n°85142 avec la D.R.E.T. 1986-1987. Etude des phénomènes de dispersion acoustique dans un milieu multicouche.

P.RUIZ. Rapport de projet. Ecole Nationale Supérieure de Physique de Marseille. Juin 1987.

Traitement d'images en tomographie ultrasonore.

Année 1988.

V.VARJEBIAN. Rapport de stage au L.M.A. (C.E.A.A.) : Le temple St Martial à Avignon et son orgue.- Annexe par F.SANTON.

Année 1989.

M.FOTI. Notice de présentation du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (mise à jour permanente).

M.FOTI. Notice de présentation des technologies cessibles par le laboratoire (mise à jour permanente).

F.DEROUET, F.DUBOIS & G.FREBAULT. Rapport industriel ESIM-IMT : Etude des déformations d'une tôle sous serre-flan lors de l'emboutissage. Septembre 1989.

Année 1990.

Th.VOINIER, G.CANEVET. Etalonnage des casques d'écoute. Septembre 1990.

III.8.4.- Notes techniques du L.M.A.

Année 1987.

Note n°4/87 - Mai 1987.

J.BRUNEL : Convertisseurs A/N Multiplexes pour chaîne d'acquisition dans le domaine d'absorption acoustique active.

Note n°5/87 - Juillet 1987.

G.SARACCO : Documentation du programme "ONDEL". Logiciel de décomposition de signaux en "ondelettes".

Note n°6/87 - Décembre 1987.

J.VINCENSINI : Réalisation d'un logiciel de transformée en ondelettes pour compatibles PC en Modula-2

Note n°7/87 - Décembre 1987.

C.CARME : Absorption Acoustique Active dans les cavités de petites dimensions.

Année 1988.

Note n°8/88 - Juin 1988.

J.BRUNEL : Etude de l'asservissement d'une table sismique commandée par servomécanisme hydraulique de forte puissance.

Année 1990.

Note n°9/90 - Mars 1990.

J.BRUNEL : Etude d'un séparateur d'impulsions.

Note n°10/90 - Mars 1990.

A.DELINIERE : Réalisation d'une interface bus IEEE listener.

Note n°11/90 - Mars 1990.

A.DELINIERE : Réalisation d'un ensemble de multiplexage 2 fois 20 voies piloté par infra-rouge ou bus IEEE.

Note n°12/90 - Décembre 1990.

P.DUTILLEUX : Equipements audio de l'équipe "Informatique musicale".

Note n°13/90 - Décembre 1990.

P.DUTILLEUX : Système d'exploitation de SYTER. Démarrage sur disquette.

III.9 Autres manifestations sans actes (séminaires)

Equipe Matériaux et Structures Hétérogènes.

Année 1990.

P.SUQUET : Séminaire à l'Université de Toulon (Analyse non linéaire) : "Méthodes de calcul simplifiées et bornes d'Hashin et Shtrikman".

P.SUQUET : Séminaire à l'Université Paris 6 (Mécanique Théorique) : "Méthodes de calcul simplifiées pour la détermination des propriétés élastiques de composites à structure périodique".

Equipe Mécanique et Méthodes Numériques.

Année 1987.

M.RAOUS : Contacts avec la PETROBRAS sur les problèmes de mécanique des structures en recherche pétrolière.

M.RAOUS : Conférence à l'IRSID - Paris (F.MOUSSY) : "Effet de surface lors de l'emboutissage : modélisation de l'écrasement des plateaux et du remplissage des vallées".

Année 1988.

M.RAOUS Conférences au LNCC - Rio de Janeiro (Brésil) :

-28 janvier 1988 : "Résolution numérique de problèmes de contact avec frottement et application pour des problèmes industriels".

20 septembre 1988 : "Convergence acceleration of algorithm for frictional contact. Aitken method, multigrid methods"

29 septembre 1988 : "Mechanical models for contact phenomena involving friction"

M.RAOUS : Conférence à la Pontificia Universidade Catolica - Rio de Janeiro (Brésil)

6 octobre 1988 : "Friction modelling for contact problems. Numerical methods and industrial applications".

Année 1989.

M.RAOUS : Conférence à la S.N.I.A.S. Marignane. 21 février 1989 : "Modélisation numérique du frottement en Mécanique des Structures".

M.RAOUS : Conférence à l'Université de Nice

9 mars 1989 "Aspects mathématiques et numériques de la modélisation du frottement".

M.RAOUS : Conférences au LNCC - Rio de Janeiro (Brésil).

12 décembre 1989 : "Convergence theorem and numerical analysis of a fixed point method for contact problem involving friction"

14 décembre 1989 : "Multigrid methods for a non linear problem" (co-auteur F.LEBON).

M.RAOUS : Conférence à l'Université de Californie Berkeley. 19 juillet 1989 : "Numerical methods for contact problems with friction".

Année 1990.

M.RAOUS : Conférence à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne - Suisse. 8 novembre 1990 : "Modélisation du frottement en grandes déformations".

Equipe Matériaux et Propagation.

Année 1989.

R.H.BLANC : Conférence "Thermoviscoelastic Behaviour of High Polymers. An Infrared Radiometry Study", Séminaires "Mechanical Engineering", Université de Lulea, Suède, 25 mai 1989.

Equipe Absorption Active Adaptative.

Année 1988.

S.BELLIZZI & R.BOUC : Conférence "Adaptative parametric control of non linear systems - Application to semi-active vehicle suspensions".- L.M.A.- Dans le cadre de la R.C.P. Mécanique Aléatoire Contrat CEE n° ST 2J 018 01 FCD - 3-7 octobre 1988.

Année 1989.

S.BELLIZZI : Séminaire de probabilités. Université de Provence / INRIA. Janvier 1989.

Equipe Dynamique des Structures.

Années 1987 à 1990.

Vingt démonstrations sur le simulateur de séismes montrant les principes d'une isolation à la base ; public architectes, ingénieurs, constructeurs.

Equipe Propagation Acoustique et Protection de l'Environnement.

Année 1988.

P.FILIPPI & D.HABAULT : Conférence aux Journées C.N.E.S.-CHOCS, Evry, 26-27 octobre 1988.

P.FILIPPI Conférence Journée A.S.T.E., "Vibro-Acoustique", Paris, 17 mars 1988.

Equipe Ultrasons.

Année 1987.

L.TRAMONI : Séminaire "Réponse acoustique d'une coque sphérique élastique à parois minces : résultats simulés et expérimentaux". Réunion D.R.E.T., Paris, 8 septembre 1987.

Année 1988.

J.P.SESSAREGO Réunions I.C.P.I. sur temps-fréquence Lyon, 13 janvier 1988 et 22 mars 1988.

J.P.SESSAREGO Participation à une réunion D.R.E.T. sur la Diffusion Acoustique, Paris, 9 mai 1988.

C.GAZANHES Conférence "Imagerie Acoustique", COST Traitement du Signal et Imagerie, Paris, Octobre 1988.

Equipe Informatique Musicale.

Année 1987.

J.C.RISSET : Séminaire "Perception des sons musicaux" - IRCAM, Paris, 10 janvier 1987.

Dans le cadre des Journées didactiques "Psychoacoustique et perception auditive" de la Société Française d'Acoustique (G.A.L.F.).

J.C.RISSET : Conférence "Physique et Musique" - 1er avril 1987 - Conférences d'intérêt général de la Faculté des Sciences d'Orsay.

J.C.RISSET : Conférence "RToward merging sound synthesis, sound processing and performance : progress report on the work in Marseille" - Media Laboratory, M.I.T., U.S.A., 7 mai 1987.

J.C.RISSET : Conférence : "The acoustics of musical sound : hearing mechanisms designed to help us know about the external world" - Media Laboratory, M.I.T., U.S.A., 21 mai 1987.

J.C.RISSET : Conférence "Espace sonore réel et illusoire" - Séminaire Suono e spazio, Université de Turin, 11 juin 1987.

D.ARFIB : Séminaire "MIDI en basic sur micro-ordinateur Thomson" - Collège de l'IRCAM : Ateliers Musique et Micro-Informatique, Paris, 21 février 1987.

D.ARFIB : Conférence "Synthèse sonore logiciel sur ordinateur personnel" - Séminaire Spazio musica - Cagliari, Italie, 22-23 octobre 1987.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "Ondelettes" - G.E.R.D.S.M. Le Brus, 14 avril 1987.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "Ondelettes, signature acoustique et synthèse numérique de signaux" - D.R.E.T., Paris, 6 mai 1987.

Année 1988.

J.C.RISSET : Conférence "Computer, synthesis, paradoxes, transformations", Séminaire Ligeti, Hamburgn Musik Hochschule, 12 novembre 1988.

J.C.RISSET : Conférence "Historique des méthodes de synthèse du son", Collège de l'IRCAM, Paris, 7 décembre 1988.

D.ARFIB : Séminaire "Synthèse et transformation des sons", Séminaire S.F.A., 20 janvier 1988.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "Analyse et synthèse sonore par la méthode des Ondelettes". Séminaire S.F.A., Paris, 20 janvier 1988.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "La transformation en Ondelettes", Séminaire I.M.S.T., Marseille, 24 février 1988.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "Applications de la transformée en Ondelettes à l'analyse, la représentation et la synthèse des signaux sonores évolutifs", Séminaire INRIA, Rocquencourt, 14 avril 1988.

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire "Introduction à l'analyse en Ondelettes et à ses applications", Groupe de Travail Diffusion, Centre de Physique Théorique, Marseille, 27 avril 1988.

Année 1989.

J.C.RISSET : Séminaire de formation en Informatique Musicale pour les formateurs de formateurs, Toulouse, 9-10 mai 1989.

J.C.RISSET : "Synthèse des sons par ordinateur et perspective écologique sur l'audition"- Premier Séminaire de Psychologie écologique, Laboratoire de Neurosciences Fonctionnelles, C.N.R.S. Marseille, 27 novembre 1989.

Année 1990.

J.C.RISSET : "Synthèse et traitement numériques, temps et composition musicale". Séminaire Prigogine, Fondation Schlumberger, Les Treilles (Var), 16 juillet 1990.

J.C.RISSET : "Conférence "Digital processing of musical sounds" aux "Graduate students", Department of Music, Dartmouth College, U.S.A., 4 octobre 1990.

J.C.RISSET : Conférence et démonstration "Live piano-computer interaction". Department of Music, Yale University, U.S.A., 8 Octobre 1990.

J.C.RISSET : Conférence "About the information in musical signals". Department of Mathematics, Yale University, U.S.A., 9 octobre 1990.

J.C.RISSET : "Critères scientifiques et artistiques pour la recherche". Rencontre Artistes Scientifiques, Fondation de France et C.N.A.C., Grenoble, 20-21 octobre 1990.

J.C.RISSET : "Recent developments in Marseille on the analysis-synthesis of musical sounds", Univ. of Illinois, Urbana, Ill. U.S.A., 19 novembre 1990.

R.KRONLAND-MARTINET : Conférence " The wavelet transform", Stanford University, Stanford, Ca., U.S.A., 2 août 1990.

R.KRONLAND-MARTINET, P.GUILLEMAIN & P.GROSSMANN : "Wavelet methods for estimation of acoustically relevant parameters of musical

Equipe Environnement Acoustique et Perception.

Année 1987.

B.SCHARF : "Einflüsse der Aufmerksamkeit auf das Hören". Invited colloquium at the Institut für Elektroakustik der Technischen Universität München, July 3, 1987, Munich.

A.M.BONNEL, C.A.POSSAMAI & B.SCHARF : "Spatial allocation of attention : line-length discrimination vs.luminance detection". Psychonomic Society, Seattle, November 6-9, 1987.

Année 1988.

B.SCHARF : "Spectral specificity in auditory detection : The effect of listening on hearing"

Invited talk. Joint Meeting of the Technical Committee on Hearing and Noise of the Acoustical Society of Japan, Osaka, Japan, Nov. 7, 1988.

B.SCHARF : "Spectral specificity in hearing". Invited talk. Institute of Otolaryngology, University of London, London, England. Dec. 21, 1988.

Année 1989.

G.CANEVET : Conférence invitée à l'Université de Floride à Gainesville (U.S.A.), 27 janvier 1989.

B.SCHARF : "Effets de l'attention sélective dans l'audition". invited paper. Journées du Club de Neuroacoustique, Lyon, France, 21-22 avril 1989.

B.SCHARF : "Central effects in simple auditory tasks". Seventh European Workshop on Cognitive Neuropsychology, Bressanone, Italy, January 23-27, 1989.

B.SCHARF : "Loudness adaptation mesured by the method of successive magnitude estimation". Invited paper. Symposium on Ration Scaling of Psychological Magnitudes, Syracuse, NY, July 30-Aug.2, 1989.

Année 1990.

B.SCHARF : "The effect of selective listening on detection". Invited paper. Hearing Research Seminar, Boston University, Boston, April 12, 1990.

B.SCHARF : "On hearing what you listen for : the effects of attention and expectancy". Invited paper. Banff Area Seminar in Cognitive Sciences, Banff, Alberta, Canada, April 28-29, 1990.

B.SCHARF : "How selective attention determines what we hear". Invited paper. Department of Psychology, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, May 1, 1990.

B.SCHARF : "Attention auditive". Invited talk. GERDSM Departement de la Construction Navale, Le Brusc, France, June 6, 1990.

Equipe Modèles Numériques.

Année 1987.

O.DEBORDES : Séminaire "Grandes déformations élastoplastiques" à Bochum (Allemagne)

O.DEBORDES : Séminaire "Homogénéisation" à Liège (Belgique).

O.DEBORDES : Communications aux groupes de travail et au colloque du GRECO "Calcul des structures".

V.MARTIN : Séminaire "Propagation des ondes élastiques dans un demi-espace. Formalisme" - U.T.C. Compiègne - 21 juin 1987.

V.MARTIN : Séminaire "Un problème de couplage fluide-structure". Comité de Direction L.M.A. - 27 octobre 1987.

Année 1988.

V.MARTIN : Conférence "Bilan des savoir-faire acquis et potentiels dans le domaine de la propagation linéaire des ondes élastiques harmoniques", Institut Méditerranéen de Technologie, Marseille, 6 et 22 juin 1988.

Année 1989.

V.MARTIN & B.PESEUX : Conférence "Couplage de méthodes numériques pour les problèmes de dynamique", GRECO.GIS "Calcul des structures", Paris, 24 janvier 1989.

V.MARTIN : Conférence "Réflexion d'une onde de compression sphérique harmonique sur un dédicement porté par un substrat", Equipe US du L.M.A., 21 mars 1989.

Année 1990.

V.MARTIN : Réunion Couplage fluide-structure. "Contribution aux problèmes de couplage fluide-structure", 27 mars 1990.

III.10 Séminaires L.M.A.

Année 1987.

1987-1.- Mercredi 7 janvier 1987.

C.CARME (L.M.A.): Absorption acoustique active dans les petites cavités.

1987-2.- Mercredi 21 janvier 1987.

J.C. RISSET (L.M.A.) : Psychoacoustique et microinformatique musicale.

1987-3.- Vendredi 23 janvier 1987.

Pr. A.CURNIER (Ecole polytechnique, Lausanne, Suisse) : Modèle de frottement et traitement numérique.

1987-4.- Mercredi 4 février 1987.

M.A.KARRAY (L.M.A.) : Réponse à une entrée sismique d'une structure montée sur un système d'isolation à la base "Gapec + barreaux d'acier".

1987-5.- Mercredi 18 février 1987.

R.KRONLAND-MARTINET (L.M.A.) : La transformée en Ondelettes : une nouvelle méthode d'analyse-resynthèse des signaux transitoires.

1987-6.- Mercredi 11 mars 1987.

D.TALAY (I.N.R.I.A.- Sophia-Antipolis, Valbonne) : Système expert pour la génération automatique de codes Fortran. Application aux systèmes différentiels stochastiques.

1987-7.- Mercredi 18 mars 1987.

P.DANGLA (Lab. des Ponts et Chaussées, Paris) : Un modèle d'interaction sol-structure par couplage éléments finis - équations intégrales.

1987-8.- Mercredi 1er avril 1987.

M.ZAKHARIA (Lab. de Traitement du Signal, I.C.P.I., Lyon) : Echos de poissons.

1987-9.- Mercredi 8 avril 1987.

R.BLANC (L.M.A.) : Comportement thermoviscoélastique des hauts polymères. Etude par radiométrie infrarouge.

1987-10.- Mardi 14 avril 1987.

D.WEICHERT (Inst. Mécanique, Univ. Bochum, R.F.A.) : Recent results in the shakedown-analysis of structures.

1987-11.- Mercredi 15 avril 1987.

H.FASTL (Inst. Electroacoustique, Munich, R.F.A.) : Measurement of loudness : psychoacoustics, modeling and application.

1987-12.-Mercredi 6 mai 1987.

E.N. MAMIYA (Pontificia Universidade Catolica, Rio de Janeiro, Brésil) : Application de la méthode de continuation aux problèmes d'élasticité finie.

1987-13.- Mercredi 20 mai 1987.

A.BRABANT (L.M.A.) : Contribution à l'étude de quelques méthodes inverses en tomographie océanique.

1987-14.- Mercredi 27 mai 1987.

Pr. B.LUNDBERG (Univ. de Lulea, Suède) : Transmission et dissipation de l'énergie des ondes mécaniques dans les joints de barres de forage soumises à des percussions.

1987-15.- Mercredi 3 juin 1987.

P.LEYLAND (L.M.A.- Détachée à l'INRIA, Sophia-Antipolis) : Simulation numérique en aérodynamique d'écoulements visqueux compressibles instationnaire par éléments finis adaptatifs et multigrilles.

1987-16.- Vendredi 12 juin 1987.

G.CANADAS (Sté Nle Elf Aquitaine Production, Pau) : Problèmes inverses de la sismique réflexion.

1987-17.- Mercredi 24 juin 1987.

D.ENGRAND (Sté Bertin, Plaisir) : Quelques problèmes d'actualité posés par les matériaux composites.

1987-18.- Mercredi 16 septembre 1987.

M.JAOUA (Ecole Nle Ingénieurs de Tunis) : Quelques méthodes numériques en viscoplasticité.

1987-19.- Mercredi 23 septembre 1987.

G.VERCHERY (Ecole des Mines, St. Etienne) : Présentation des activités du Dépt. "Mécanique et Matériaux" et des travaux récents sur la description de l'anisotropie et ses applications à la conception en rigidité des composites stratifiés.

1987-20.- Mercredi 30 septembre 1987.

J.SLAMA (L.M.A.) : Cohérence et métrologie en acoustique industrielle.

1987-21.- Mercredi 7 octobre 1987.

B.ESCUDE (I.C.P.I., Lyon) : Analyse à surtension constante en acoustique. Liens avec l'analyse en ondelettes.

1987-22.- Mercredi 14 octobre 1987.

H.BARBOSA (Lab. Nal Computação Científica CNPq, Rio de Janeiro, Brésil) : Numerical Algorithms for contact problems in elasticity.

1987-23.- Mercredi 4 novembre 1987.

M.GHAZOUANE (L.M.A.) : Méthodes d'intégration numérique d'une loi d'écroutissage cinématique non linéaire de J.L.Chaboche.

Considérations de similitudes rhéologiques sur les matériaux standards à potentiels homogènes.

1987-24.- Mercredi 23 décembre 1987.

P.M.LESNE (O.N.E.R.A., Chatillon) : Calculs en viscoplasticité avec des lois de comportement complexes couplées ou non à l'endommagement.

Année 1988.

1988-1.- Mercredi 17 février 1988.

Pr. R.SAMPAIO (Pontificia Universidade Catolica (PUC), Rio de Janeiro, Brésil)

Application des méthodes de continuation à des problèmes de grandes déformations.

1988-2.- Mercredi 2 mars 1988.

Pr. J.MADEJ (Ecole Polytechnique de Cracovie, Pologne) Rupture en fluage.

1988-3.- Mercredi 16 mars 1988.

Mr. B.POIREE (D.R.E.T./SDC/G63, Paris) Définitions de différentes célérités en propagation des ondes.

1988-4.- Mercredi 20 avril 1988.

M.BOUKAMEL (Equipe DS-L.M.A.) Simulation par éléments finis "pseudo-axisymétriques" de comportement en grandes déformations de structures en caoutchouc.

1988-5.- Mardi 26 avril 1988.

M.HAJAR (Equipe MATEP- L.M.A.) Thermoviscoélasticité linéaire.

1988-6.- Mercredi 11 mai 1988.

D.FRANCOIS (Ecole Centrale, Paris) Comportement mécanique et endommagement de mousses syntactiques.

1988-7.- Mercredi 18 mai 1988.

P.SUQUET (Univ. Sc. Tech. Languedoc) Croissance de cavités en rupture ductile.

1988-8.- Mercredi 25 mai 1988.

B.ESCUDE (I.C.P.I., Lyon) Evolution temporelle d'une discipline la thermodynamique et de ses applications aux machines à vapeur.

1988-9.- Mercredi 1er juin 1988.

J.L.ARMAND (Institut Méditerranéen de Technologie) Réponse stochastique non linéaire de structures en mer.

1988.10.- Mercredi 8 juin 1988.

P.CERVENKA (Laboratoire de Mécanique Physique, St Cyr l'Ecole) L'Acoustique non linéaire.

1988-11.- Mercredi 15 juin 1988.

B.MARTINET (U.E.R. de Mathématiques, Université de Provence, Aix-Marseille I) Généralités sur des méthodes à pas adaptés pour des problèmes d'équations aux dérivées partielles elliptiques et paraboliques.

1988-12.- Mercredi 16 novembre 1988 (10h30).

Dr. K. HATAKEYAMA (Univ. Hiroshima, Japon) A trial of establishing a new identification method for stochastic acoustic systems based on a new measure of statistical independence.

1988-13.- Mercredi 16 novembre 1988 (15h).

Dr. A.C.GALEAO (Laboratorio Nacional de Computação Científica - CNPq, Rio de Janeiro, Brésil) A numerical model to analyse the impact between piping and gapped restraints.

1988-14.- Mercredi 23 novembre 1988 (10h30).

Dr. K.HATAKEYAMA (Univ. Hiroshima, Japon) A state estimation method of non-Gaussian acoustic systems by using a wide sense digital filter in a hierarchical form.

1988-15.- Mercredi 23 novembre 1988 (15h).

Dr. A.C.GALEAO (Laboratorio Nacional de Computação Científica - CNPq, Rio de Janeiro, Brésil) A consistent approximate upwind Petrov-Galerkin method for convection-dominated problems.

1988-16.-Mercredi 30 novembre 1988 (10h30).

Mme G.SARACCO (Equipe US - L.M.A.) Etude de la transmission acoustique en régime transitoire et milieux inhomogènes, à l'aide de la transformée en Ondelettes. Application au dioptré plan aireau.

1988-17.- Mercredi 7 décembre 1988.

P.TCHAMITCHIAN (C.P.T.- C.N.R.S. Luminy et Univ. Aix-Marseille III) Utilisation de la transformée en Ondelettes par les mathématiciens.

Année 1989.

1989-1.- Mercredi 4 janvier 1989.

Dr. Josef J.TELEGA (I.P.P.T., Varsovie) Quelques résultats de l'homogénéisation de plaques et de coques élastiques.

1989-2.- Mercredi 1er février 1989.

Pr. J.C.GELIN (Lab. de Mécanique Appliquée. UA CNRS - Univ. de Franche-Comté et E.N.S.M.M. Besançon) Grandes déformations élasto-(visco)plastiques et endommagement. Modèles et algorithmes.

1989-3.- Mercredi 15 février 1989.

P.FLANDRIN (C.N.R.S.- I.C.P.I., Lyon) Analyses Temps-Fréquence et applications.

1989-4.- Mercredi 22 février 1989.

Pr. Ulf KRISTIANSEN (Univ. de Trondheim, Norvège) Méthodes de rayons appliquées à l'Acoustique des salles de concert.

1989-5.- Mardi 14 mars 1989.

Pr. B.NAYROLES (L.I.F.I.A., Grenoble), Pr. J.L.PEUBE (Univ. de Poitiers) Premiers résultats expérimentaux sur un scanner à fils chaud.

1989-6.- Mercredi 22 mars 1989.

C.SOIZE (O.N.E.R.A., Chatillon) Méthodes numériques en matière de dynamique et de rayonnement des structures.

1989-7.- Lundi 17 avril 1989.

1989-8.- Mercredi 19 avril 1989.

1989-9.- Vendredi 21 avril 1989.

Pr. Harold LEVINE (Imperial College of Science and Technology, Department of Mathematics, London) Sources et rayonnement en Acoustique ; analyse détaillée pour diverses applications.

1989-10.- Mercredi 26 avril 1989.

Pr. Giuseppe BUTTAZZO (Univ. de Ferrare, Italie) Structures minces en élasticité la méthode variationnelle.

1989-11.- Mercredi 10 mai 1989.

Mme Laurence BRIZE-TRAMONI (Equipe US- L.M.A.) Diffusion acoustique par des coques sphériques à parois minces.

1989-12.- Mercredi 17 mai 1989.

B.ESCU DIE (I.C.P.I., Lyon) Thermodynamique, flèche du temps et Irréversibilité.

1989-13.- Mercredi 14 juin 1989.

Pr. Serge CESCOTTO (Services M.S.M., Univ. de Liège, Belgique) Développements récents en simulation numérique du formage des métaux.

1989-14.- Vendredi 16 juin 1989.

Mlle Bayan MASSOUTI (Equipe A.3- L.M.A.) Contribution à la réalisation en temps réel de la séparation des composantes acoustique et turbulente d'un signal microphonique.

1989-15.- Mercredi 25 octobre 1989 (10h30).

Dr. A.J.M.HOUTSMA (Institute of Perception Research, Eindhoven, The Netherlands) Pitch and Timbre two essential sound attributes in speech and music.

1989-16.- Mercredi 25 octobre 1989 (14h30).

Dr. Giuseppe GEYMONAT (Lab. de Mécanique & Technologie, E.N.S. de Cachan / C.N.R.S. / Univ. Paris VI) Homogénéisation, linéarisation et perte d'ellipticité en élasticité.

1989-17.- Vendredi 10 novembre 1989.

Pr.L.CASTEX (ENSAM, Aix-En-Provence) & Pr.J.M.SPRAUEL (I.U.T., Aix-en-Provence) Analyse des surfaces métalliques par diffractométrie X.

Séminaires L.M.A.-M.M.N.

Du 25 au 28 septembre 1989 5 séminaires

Dr. Abimael LOULA (Laboratoire National de Calcul Scientifique (LNCC) - CNPq - Rio de Janeiro - Brésil) Topics on mixed Galerkin and Petrov Galerkin finite element methods in continuum mechanics.

Vendredi 29 septembre 1989.

Dr. Abimael LOULA New trends in computational Mechanics.

Année 1990.

1990-1.- Vendredi 23 mars 1990.

A.R.AGUIAR (PUC/RJ : Pontificia Universidade Catolica (PUC), Rio de Janeiro, Brésil) : Simulation numérique du phénomène de la striction dans un matériau élastique.

1990-2.- Jeudi 10 mai 1990.

B.ESCU DIE (I.C.P.I., Lyon) : Des cordes vibrantes à l'analyse harmonique.

1990-3.- Mercredi 6 juin 1990.

G.RABAU (Equipe US-L.M.A.) : Modèle géoacoustique.

1990-4.- Mercredi 20 juin 1990.

K.BOWDEN (Computer Center, Polytechnic of East London, Dagenham, Essex, G.B.) : Parallel processing and the transputer.

1990-5.- Lundi 17 septembre 1990.

Pr. J.BLAUERT (Ruhr-Universitaet, Bochum, Allemagne) : Application-oriented modeling of binaural interaction.

1990-6.- Mercredi 14 novembre 1990.

B.ESCU DIE (I.C.P.I., Lyon) : L'instabilité dynamique en mécanique ouvre la voie à une discipline nouvelle.

1990-7.- Mercredi 21 novembre 1990.

Pr. D.EUVRARD (Univ. Pierre & Marie Curie (Paris VI) et Lab. de Mécanique et Energétique de l'ENSTA) : Propagation acoustique sous-marine en présence de la houle.

III.11 Diffusion de la connaissance dans le milieu socio-économique

Equipe Mécanique et Méthodes Numériques.

Année 1987.

M.RAOUS : Séminaire Technicatome, Aix-Les-Milles - 19 juin 1987 - "Modélisation du frottement pour l'assemblage de structures.

M.RAOUS, P.CHABRAND, Y.PINTO : Séminaire avec des industriels de l'Automobile et de la Sidérurgie, IRSID - Paris - 20 novembre 1987 - "Frottement et mise en forme".

Année 1988.

M.RAOUS : Conférence à la SOLIAC - Groupe "Contact métal-outil en emboutissage" - 13 juin 1988 - "Résultats numériques préliminaires sur les effets de surface en emboutissage".

P.CHABRAND, M.RAOUS & Y.PINTO : Conférence à la SOLLAC - Groupe "Contact métal-outil en emboutissage" - 22 décembre 1988 - "Comportement de tole sous serre-flans sans joncs lors de l'emboutissage".

Année 1989.

P.CHABRAND & M.RAOUS : Conférence à la SOLLAC - Groupe "Contact métal-outil en emboutissage" - 1er juin 1989 - "Modélisation numérique du frottement en emboutissage. Echelle macro".

P.CHABRAND & M.RAOUS : Conférence à la SOLLAC - Groupe "Contact métal-outil en emboutissage" - 11 octobre 1989 - "Modélisation numérique du frottement en emboutissage. Echelle micro".

E.SANCHEZ-PALENCIA & P.SUQUET : Article paru dans "La Recherche", Octobre 1989. Encart "Cinquantenaire du C.N.R.S.", XXIV-XXVI - "Des matériaux plus simples grâce à l'homogénéisation".

Equipe ITAQ.

Année 1987.

J.P.LEFEBVRE : Journée sur le CND par Ultrasons organisée par la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille - 23 juin 1987 - "Le contrôle non destructif par Ultrasons".

Equipe Absorption Active Adaptative.

Année 1988.

S.ERKMAN : Article paru dans le Magazine Suisse d'Information "L'Hebdo" n°41 (13 octobre 1988), pp.34-38.- "Lutte contre la pollution sonore. Les bruits du silence".

Année 1990.

S.BELLIZZI : - "Méthodes de simulation numérique des sollicitations"
- "Démonstrations d'un logiciel d'analyse spectrale et de simulation de processus".

et

R.BOUC : - "Vibrations aléatoires des systèmes discrets non linéaires".
- "Dynamique stochastique des véhicules routiers".
- "Modélisation instationnaire des sollicitations sismiques et des réponses associées".

dans : Cours de l'Institut pour la Promotion des Sciences de l'Ingénieur (I.P.S.I.) "Méthodes probabilistes appliquées à la dynamique des structures" - Mars 1990.

Equipe Ultrasons.

Année 1988.

G.SARACCO : Conférence à la Société DIGILOG, Aix-Les Milles.- 17 octobre 1988.-"Présentation des perspectives d'industrialisation de l'application de la transformée en ondelettes à la propagation d'ondes transitoires".

Année 1989.

G.SARACCO : Conférence à la Société DIGILOG, Aix-Les Milles - 17 avril 1989 -"Application de l'analyse temps-échelle à des problèmes de sonar actif".

G.SARACCO : Conférence à la Société DIGILOG, Aix-Les Milles - 10 juin 1989.-"Problème direct et inverse en transmission acoustique. Transformée en ondelettes et applications".

Equipe Informatique Musicale.

Année 1987.

J.C.RISSET : Séminaire de l'Institut de l'Ecole Normale Supérieure, sur les Ondelettes - Paris - 2 avril 1987 - "Problèmes de l'analyse et synthèse du son".

R.KRONLAND-MARTINET : Séminaire de l'Institut de l'Ecole Normale Supérieure, sur les Ondelettes - Paris - 2 avril 1987 - "Analyse et synthèse sonore par ondelettes".

Année 1988.

R.KRONLAND-MARTINET Conférence à la Société DIGILOG, Aix-Les Milles.- 2 mars 1988. "Traitement du signal audiophonique".

R.KRONLAND-MARTINET.- Séminaire Invité Ecole Normale Supérieure, Paris.- 15 décembre 1988. "Caractérisation de signaux transitoires par transformée en ondelettes".

Année 1990.

J.C.RISSET, avec le G.M.E. de Marseille : Organisation d'une démonstration sur l'impression des partitions musicales par ordinateur avec le Professeur L.SMITH de Stanford University - Conservatoire National Supérieur de Région, 20 février 1990.

J.C.RISSET, avec le G.M.E. de Marseille : Organisation d'une démonstration de synthèse et contrôle temps réel avec les Professeurs M.V.MATHEWS et J.C.CHOWNING de Stanford University - Conservatoire National Supérieur de Région, 19 juin 1990.

J.C.RISSET : Démonstrations d'interaction temps réel piano-ordinateur. Manifestations pour le 5ème anniversaire du Media Laboratory, M.I.T.- 1er octobre 1990.

Equipe Modèles Numériques.

Année 1990.

V.MARTIN & J.P.QUEVAT : Conférence - Marignane Aérospatiale - 11 octobre 1990 - "Recherche-Développement dans les couplages d'ondes mécaniques en fluide-structure".



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
31 Chemin Joseph-Aiguier - 13402 MARSEILLE Cédex 09
Tél. : 91.16.40.00 -- Fax : 91.22.08.75 -- Télex : 430 225F