

UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

Doctoral School EOBE

University Department CEA LIST

Thesis defended by **Samar CHEHADE**

Defended on **1st January, 2015**

In order to become Doctor from Université Paris-Saclay

Academic Field **Physics**

Speciality **Acoustics**

Modelling of the 3D scattering of elastic waves by complex structures for specimen echoes calculation. Application to ultrasonic NDT simulation.

Thesis supervised by Michel DARMON Supervisor
Gilles LEBEAU Co-Supervisor

Committee members

<i>Referees</i>	René DESCARTES	Professor at IHP	
	Denis DIDEROT	Senior Researcher at CNRS	
<i>Examiners</i>	Victor HUGO	Professor at ENS Lyon	Committee President
	Sophie GERMAIN	Associate Professor at Université de Paris 13	
	Joseph FOURIER	Junior Researcher at INRIA	
	Paul VERLAINE	HDR Junior Researcher at CNRS	
<i>Guest</i>	George SAND		
<i>Supervisors</i>	Michel DARMON	CEA LIST	
	Gilles LEBEAU	Professor at Université de Nice	

UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

École doctorale EOBE

Unité de recherche CEA LIST

Thèse présentée par **Samar CHEHADE**

Soutenue le **1^{er} janvier 2015**

En vue de l'obtention du grade de docteur de l'Université Paris-Saclay

Discipline **Physique**

Spécialité **Acoustique**

Modélisation de la diffusion 3D d'ondes élastiques par des structures complexes pour le calcul des échos de géométrie. Application à la simulation des CND par ultrasons.

Thèse dirigée par Michel DARMON directeur
Gilles LEBEAU co-directeur

Composition du jury

<i>Rapporteurs</i>	René DESCARTES	professeur à l'IHP	
	Denis DIDEROT	directeur de recherche au CNRS	
<i>Examineurs</i>	Victor HUGO	professeur à l'ENS Lyon	président du jury
	Sophie GERMAIN	MCF à l'Université de Paris 13	
	Joseph FOURIER	chargé de recherche à l'INRIA	
	Paul VERLAINE	chargé de recherche HDR au CNRS	
<i>Invité</i>	George SAND		
<i>Directeurs de thèse</i>	Michel DARMON	CEA LIST	
	Gilles LEBEAU	professeur à l'Université de Nice	

Keywords: elastodynamics, diffraction, asymptotic methods

Mots clés : elastodynamique, diffraction, méthodes asymptotiques

This thesis has been prepared at

CEA LIST

CEA Saclay Digiteo Labs

Bât. 565

91191 Gif-sur-Yvette

France

☎ +33 (0)1 69 08 08 00

✉ info-list@cea.fr

Web Site <http://www-list.cea.fr/>



MODELLING OF THE 3D SCATTERING OF ELASTIC WAVES BY COMPLEX STRUCTURES FOR SPECIMEN ECHOES CALCULATION. APPLICATION TO ULTRASONIC NDT SIMULATION.**Abstract**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Keywords: elastodynamics, diffraction, asymptotic methods

MODÉLISATION DE LA DIFFUSION 3D D'ONDES ÉLASTIQUES PAR DES STRUCTURES COMPLEXES POUR LE CALCUL DES ÉCHOS DE GÉOMÉTRIE. APPLICATION À LA SIMULATION DES CND PAR ULTRASON.**Résumé**

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Mots clés : elastodynamique, diffraction, méthodes asymptotiques

CEA LIST

CEA Saclay Digiteo Labs – Bât. 565 – 91191 Gif-sur-Yvette – France

Table of Contents

Abstract	ix
Table of Contents	xiii
List of Figures	xv
Introduction générale	1
1 Contexte du chaos du rire	5
2 Conclusion	9
I Le rire du chaos	21
3 Contexte du rire du chaos	23
4 Développement	27
5 Conclusion	31
Conclusion générale	33
A Documents juridiques	49
B Programmes informatiques	59
Contents	63

List of Figures

4.1	Représentation graphique de la fonction $f : (x, y) \mapsto \sin x \times \sin y$	29
-----	---	----

Contents

Abstract	ix
Table of Contents	xiii
List of Figures	xv
Introduction générale	1
Une section d'introduction	1
Une sous-section d'introduction	1
Une autre sous-section d'introduction	4
Une autre section d'introduction	4
1 Contexte du chaos du rire	5
2 Conclusion	9
2.1 Une section	9
2.1.1 Une sous-section	10
2.1.2 Une autre sous-section	17
2.2 Une autre section	18
I Le rire du chaos	21
3 Contexte du rire du chaos	23
4 Développement	27
5 Conclusion	31
Conclusion générale	33
Une section de conclusion	33
Une sous-section de conclusion	34

Une autre sous-section de conclusion	42
Une autre section de conclusion	43
A Documents juridiques	49
A.1 Licence sous laquelle est publié notre travail	49
A.2 Transposition de la licence précédente en droit français	53
B Programmes informatiques	59
Contents	63

MODELLING OF THE 3D SCATTERING OF ELASTIC WAVES BY COMPLEX STRUCTURES FOR SPECIMEN ECHOES CALCULATION. APPLICATION TO ULTRASONIC NDT SIMULATION.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Keywords: elastodynamics, diffraction, asymptotic methods

MODÉLISATION DE LA DIFFUSION 3D D'ONDES ÉLASTIQUES PAR DES STRUCTURES COMPLEXES POUR LE CALCUL DES ÉCHOS DE GÉOMÉTRIE. APPLICATION À LA SIMULATION DES CND PAR ULTRASONS.

Résumé

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Mots clés : elastodynamique, diffraction, méthodes asymptotiques

CEA LIST

CEA Saclay Digiteo Labs – Bât. 565 – 91191 Gif-sur-Yvette – France