



HAL
open science

INLN - Institut non linéaire de Nice

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. INLN - Institut non linéaire de Nice. 2011, Université Nice Sophia Antipolis, Centre national de la recherche scientifique - CNRS. hceres-02030187

HAL Id: hceres-02030187

<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02030187v1>

Submitted on 20 Feb 2019

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.



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur
l'unité :

Institut Non Linéaire de Nice (INLN)

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université de Nice-Sophia Antipolis (UNS)

CNRS

Mars 2011



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Institut Non Linéaire de Nice (INLN)

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université de Nice-Sophia Antipolis (UNS)

CNRS

Le Président de l'AERES

Didier Houssin

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

Mars 2011



Unité

Nom de l'unité : Institut Non Linéaire de Nice (INLN)

Label demandé : UMR CNRS

N° si renouvellement : UMR 6618

Nom du directeur : M. Jorge TREDICCE

Membres du comité d'experts

Président :

M. Martial DUCLOY, CNRS, Laboratoire de Physique des Lasers,illetaneuse

Experts :

M. Georgy SHLYAPNIKOV, CNRS, Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques (LPTMS), Orsay

M. François DAVID, CNRS, Institut de physique théorique (IPhT), Gif sur Yvette

M. Robert KUSZELEWICZ, CNRS, Laboratoire de photonique et de nanostructures (LPN), Marcoussis

M. Thierry DAUXOIS, CNRS, Laboratoire de physique de l'ENS de Lyon, Lyon, (CoNRS)

Mme Saïda GUELLATI, CNAM, Laboratoire Kastler Brossel, Paris, (CNU)

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Jean-Paul VISTICOT

Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. Jean-Marc LARDEAUX, Vice-président du Conseil Scientifique, Université de Nice-Sophia Antipolis

M. Patrick LEBOEUF, Directeur Scientifique Adjoint, CNRS

Mme Pascale ROUBIN, Directrice Scientifique Adjointe, CNRS

Mme Marie-Florence GRENIER-LOUSTALOT, Déléguée Régionale CNRS - Côte d'Azur



Rapport

1 • Introduction

Le Comité d'évaluation de l'INLN s'est réuni à Sophia-Antipolis les 26 et 27 Janvier 2011. Après une présentation générale du laboratoire par son Directeur, Jorge TREDICCE, le comité a écouté neuf exposés sur les différentes thématiques scientifiques développées à l'INLN : dynamique non-linéaire, flux géophysiques, physique théorique, atomes froids, systèmes fortement corrélés et atomes ultra-froids, auto-organisation, dynamique des lasers à semi-conducteurs, optique non-linéaire des cristaux liquides... Le comité a aussi visité les salles d'expériences et discuté devant les nombreux posters présentés dans les couloirs de l'institut. Il a eu un entretien approfondi avec les tutelles (CNRS, Université), a entendu le Conseil de Labo et rencontré les doctorants. L'un des experts du comité, Robert KUSZELEWICZ, n'a pas pu se déplacer pour la visite, mais a néanmoins participé à l'ensemble des exposés et réunions par l'intermédiaire d'un système de vidéoconférence.

L'Institut Non-Linéaire de Nice (INLN) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 6618) sous la double tutelle de l'Université de Nice-Sophia Antipolis et du CNRS. Il est situé sur le campus de Sophia-Antipolis. Ses thématiques de recherche concernent la dynamique non-linéaire, les flux géophysiques, la physique théorique, les atomes froids, les systèmes fortement corrélés et les atomes ultra-froids, l'auto-organisation, la dynamique des lasers à semi-conducteurs, l'optique non-linéaire des cristaux liquides.

L'INLN a été créé il y a maintenant 20 ans sur une idée très originale et intéressante, à savoir un regroupement interdisciplinaire mathématiciens-physiciens sur des thèmes alors en plein essor, comme la dynamique des systèmes non-linéaires, le chaos, etc. Il regroupait alors mathématiciens et physiciens, en général théoriciens. Cependant au cours de son histoire, la plupart des fondateurs de l'INLN sont partis, et en particulier les mathématiciens. De ce fait l'esprit et les missions d'origine ont été perdus, mais les contacts ont été maintenus avec les équipes de mathématiques par l'intermédiaire de la Fédération Döblin. Dans le cadre des objectifs initiaux, l'arrivée de nouveaux chercheurs a entraîné un certain renouvellement des approches et accentué la composante expérimentale des recherches effectuées à l'institut.

- Equipe de Direction :

Directeur Jorge TREDICCE



- Effectifs de l'unité (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	12	14
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	12	11
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaire 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	33	4
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	10	10
5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	2	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	10	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	20	19

2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global sur l'unité:

L'impression générale laissée par la visite et l'examen des activités de recherche est globalement excellente.

- Points forts et opportunités :

Il apparaît clairement que la majorité des équipes est formée de chercheurs de talent ayant de compétences remarquables dans leurs domaines respectifs.

La plupart des thèmes de recherche sont d'un excellent niveau international, et certains de ces thèmes font de l'INLN un centre de savoir-faire unique au niveau national.

- Points à améliorer et risques :

- Faible niveau de financement extérieur de l'INLN.
- Certaines thématiques ont perdu - ou n'ont pas atteint- la masse critique. Des restructurations de certaines équipes de recherche s'avèrent nécessaires.
- Plusieurs équipes ont un trop faible nombre de doctorants.

- Recommandations:

Une certaine restructuration des thématiques doit être envisagée et est précisée dans la partie suivante.



- **Données de production :**

(cf. http://www.aeres-evaluation.fr/IMG/pdf/Criteres_Identification_Ensgts-Chercheurs.pdf)

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	25
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5 dans la colonne projet	3
A3 : Taux de producteurs de l'unité [A1/(N1+N2)]	100%
A4 : Nombre d'HDR soutenues (cf. Formulaire 2.10 du dossier de l'unité)	4
A5 : Nombre de thèses soutenues (cf. Formulaire 2.9 du dossier de l'unité)	11

3 • **Appréciations détaillées :**

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**

Lorsqu'on évalue l'INLN à l'aune des critères énoncés par l'AERES, son niveau est excellent. La qualité scientifique des recherches effectuées et le niveau de production sont remarquables avec de nombreuses publications dans des revues internationales à fort impact: Physical Review Letters, Nature Physics, Europhysics Letters, Applied Physics Letters, etc. Parmi les résultats exceptionnels obtenus récemment par les équipes de l'INLN, on peut citer par exemple les effets de ralentissement ou d'accélération de la propagation du rayonnement lumineux en optique non-linéaire des cristaux liquides, la création et l'observation de solitons de cavités et de lasers à solitons en dynamique des lasers à semi-conducteurs, ou l'investigation de la dynamique de diffusion des photons dans une vapeur résonnante (vols de Lévy). Il faut aussi souligner l'originalité de l'approche appliquant dynamique non-linéaire et mécanique des fluides à l'étude des écoulements géophysiques (océaniques, atmosphériques) en sciences du climat. Cette thématique a un impact très important par ses actions dirigées vers le grand public, en particulier grâce à la vitalité de sa page Web.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

La qualité du travail de recherche de l'INLN a été reconnue par l'attribution récente d'une Médaille de Bronze du CNRS à un chercheur de l'INLN. Elle s'exprime aussi dans le rayonnement international de l'Institut : de nombreuses invitations dans des congrès internationaux, des collaborations internationales qui se sont traduites à travers la création de deux LIA (« Laboratoire International Associé » du CNRS), l'un avec l'Université de Singapour et l'autre avec l'Université de Californie à Davis - LIA dans lesquels les membres de l'INLN sont leaders -, et l'organisation en 2009 à Singapour d'une session de l'École d'été de physique théorique des Houches. Il faut aussi citer les nombreuses collaborations avec l'Amérique du Sud : Brésil, Argentine, Chili..., ainsi que la participation active à plusieurs projets européens de qualité (FunFACS, INTERCAN).

Une des inquiétudes du Comité d'évaluation a été de voir le faible niveau de financement extérieur de l'INLN (pas de projets ANR récemment accordés, fin de plusieurs contrats français et européens).

- **Appréciation sur la gouvernance et la vie de l'unité:**

La gouvernance et l'animation du laboratoire se situent aussi à un excellent niveau. La direction de l'INLN a été très bien assurée par Jorge TREDICCE, qui a su négocier avec doigté quelques passages délicats : départ des mathématiciens entraînant une perte relative dans le caractère interdisciplinaire des activités de l'INLN, recentrage partiel vers la physique expérimentale, redécoupage des activités entre les équipes d'atomes froids et ultra-froids... Le Conseil de laboratoire est consulté régulièrement (4 fois/an) sur la politique de l'INLN. Cependant le Comité



d'évaluation a noté quelques demandes en vue d'améliorer la communication interne, dans un besoin de transparence accrue. Mais le laboratoire présente un excellent accueil à ses doctorants (nombreux, mais regroupés sur certaines des équipes, atomes froids, optique non-linéaire...) qui se félicitent de la qualité de vie et du travail à l'INLN. Par ailleurs l'INLN participe activement à la vie de l'Université de Nice Sophia-Antipolis. L'UNS se montre extrêmement attentive à l'évolution de l'Institut et de ses activités, et le considère comme un des meilleurs éléments dans l'activité de recherche de l'université.

- **Appréciation sur la stratégie et le projet :**

Les réorientations de certains thèmes ont été facilitées par quelques recrutements judicieux d'enseignants-chercheurs ces dernières années. Cependant il reste que certaines thématiques ont perdu - ou n'ont pas atteint- la masse critique. Des problèmes de restructuration des équipes de recherche s'avèrent nécessaires, et il a semblé important au Comité d'évaluation que certaines équipes se regroupent pour apparaître moins isolées. Par exemple l'équipe « Ecoulements géophysiques » (axe B), qui a perdu récemment un élément essentiel, partage avec la thématique « Dynamique non-linéaire en biologie, modélisation de réseaux et systèmes complexes » (axe A) des objectifs communs, et gagnerait à se regrouper tout en conservant des relations étroites avec ce membre de l'équipe qui vient de la quitter. De même l'équipe « Radiation électromagnétique » (axe H), qui est largement sous-critique, avec une activité intéressante mais appelée à s'éteindre à terme, doit aussi se regrouper avec l'axe A. La thématique « Théorie des Champs » (axe D) doit faire évoluer son champ d'activités. C'est particulièrement crucial puisqu'elle représente le seul groupe de physique théorique à Nice. Enfin il apparaît nécessaire au comité d'évaluation d'évoquer le cas de l'équipe « Atomes Froids », qui a une activité d'un niveau excellent et assure une formation à la recherche de façon remarquable, mais avec un encadrement dont la taille est nettement sous-critique. Cette équipe doit se renforcer en chercheurs ou enseignants-chercheurs confirmés, tout en gardant une attention particulière à l'organisation de la vie interne de l'équipe et donc son unité. Le comité a par ailleurs regretté la disparition de la thématique « auto-organisation » due à l'absorption totale ces dernières années d'un membre-clé dans des activités d'enseignement, et espère que dans le futur cet enseignant-chercheur pourra réintégrer la vie de l'INLN.



4 • Analyse équipe par équipe

- Intitulé de l'équipe : Applications of Dynamical Systems
- Responsables : J-A. SEPULCHRE, E. SIMONNET, JP. ZOLESIO
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	2	2
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	5	5
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	3	1
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	0	0
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	0	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	1	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	7	7

Certains axes du laboratoire ont, pour diverses raisons, un nombre trop restreint de chercheurs ou d'enseignants-chercheurs. Le comité a décidé de regrouper dans cette partie trois des axes du laboratoire qui utilisent des outils ou méthodes proches : « Dynamique non-linéaire en biologie, modélisation de réseaux et systèmes complexes », « Ecoulements géophysiques » et « Radiation électromagnétique ».

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**

L'activité autour des systèmes dynamiques et de leurs applications, activité centrale à la création de l'INLNL il y a 20 ans, a perdu indéniablement de son impact. Il reste néanmoins plusieurs chercheurs qui s'intéressent aux applications des systèmes dynamiques :

- La première activité concerne la modélisation des réseaux génétiques et métaboliques qui peuvent être modélisés comme un système dynamique non linéaire dont les variables sont les concentrations chimiques des différentes espèces (protéines, mRNA, ...). Cette activité a été soutenue par un projet ANR Regupath et a obtenu un joli résultat du point de vue qualitatif et quantitatif sur la dynamique de la pathogénèse de l'*Erwinia chrysanthemi*.
- Les activités autour des fluides géophysiques ont été l'une des grandes nouveautés et succès de ce quadriennal. En étudiant l'équation de Navier Stokes à deux dimensions, perturbée de manière stochastique, et en utilisant la théorie de Robert-Sommeria-Miller, les chercheurs ont prédit la possibilité de changements aléatoires de la topologie de l'écoulement, susceptibles de faire passer d'une structure dipolaire à un écoulement unidirectionnel de manière aléatoire. Des vérifications expérimentales sont en cours dans le cadre de l'ANR Statocean afin de vérifier ces prédictions et si possible les étendre à l'étude de la formation de jets au niveau des latitudes moyennes. Le chercheur de l'équipe a également développé la description statistique en utilisant la théorie des systèmes dynamiques aléatoires.
- L'étude de la fibrillation cardiaque étudiée par un directeur de recherche émérite, est toujours très florissante. Les expériences sont effectuées en Allemagne.



- Un autre chercheur s'intéresse à des problèmes assez différents, liés à ce que l'on appelle éconophysique et plus particulièrement à l'influence des facteurs psychologiques sur les actions d'investissement.
- Enfin, un petit groupe travaille sur l'optimisation et le contrôle géométrique de systèmes représentés par des équations aux dérivées partielles, avec notamment des applications à l'électromagnétisme. Outre une intense activité de publications de livres, il s'intéresse notamment aux géométries non douces. Ce groupe a développé au cours des années une expertise reconnue notamment au niveau des simulations numériques et a des collaborations soutenues avec Thalès et l'INRIA.

Le nombre de publications est tout à fait raisonnable et pour certaines dans des revues de premier niveau.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

Il y a plusieurs activités avec une visibilité internationale indéniable sur des thématiques assez différentes. Les chercheurs des différentes thématique ont des collaborations internationales approfondies et fructueuses; cependant, s'il existe bel et bien un dénominateur commun autour des applications des systèmes dynamiques, on regrettera que ce groupe n'en soit pas vraiment un, au sens où les différents membres travaillent tous de manière découplée et sur des sujets différents. Certaines activités sont clairement passées sous le niveau critique en termes de moyens humains. Les départs effectifs et annoncés (dans le rapport et lors de la visite) de trois membres de cette équipe vont affaiblir encore plus cette activité qui mérite une réflexion approfondie sur ses objectifs et sur la meilleure manière de travailler ensemble tout en respectant les spécificités, les compétences et les goûts de chacun.

On ne peut qu'encourager les membres de cette activité de tenter un rapprochement avec les thématiques proches. On pense bien évidemment aux chercheurs faisant partie du même groupe mais aussi aux chercheurs des laboratoires voisins : notamment aux activités de modélisation par les systèmes dynamiques de réseaux génétiques, ou bien aux aspects mathématiques des écoulements géophysiques qui pourraient et devraient tout à fait entrer en résonance avec certaines activités menées dans des laboratoires voisins.

Le comité regrette le nombre beaucoup trop faible de doctorants encadrés par les chercheurs de ce groupe.

- **Appréciation sur le projet :**

Le maintien de ces chercheurs sous la forme de trois groupes ne nous est pas apparu optimal étant donné les forces en présence et en tenant compte des départs annoncés. C'est la raison pour laquelle nous proposons le regroupement de trois groupes en une seule entité qui méritera sans aucun doute un renforcement de sa cohérence au fil des années et vraisemblablement un soutien au niveau du recrutement.

L'arrivée d'un chercheur au laboratoire en 2010 est un atout fort pour ce groupe. Ce chercheur créatif et dynamique peut établir des ponts entre les différentes personnes, voire créer des interactions avec les équipes travaillant sur les atomes froids ou ultrafroids. Gageons qu'il saura avec l'ensemble des membres de cette équipe retrouver un dynamisme vital pour étudier les systèmes dynamiques dans différentes applications.

Un soutien fort de la direction du laboratoire à travers des recrutements judicieux ou par exemple par des bourses fléchées au niveau de l'école doctorale pour recruter des doctorants dans ce groupe semble aussi un élément important et source de dynamisme, pour cette équipe et donc pour le laboratoire.

- **Conclusions :**

Une meilleure cohérence de ce groupe, des tentatives de rapprochement sur les méthodes si ce n'est sur les objets d'application seraient les bienvenues pour améliorer le fonctionnement de cette activité qui doit absolument trouver des solutions pour former davantage de jeunes chercheurs post-doctorants mais surtout de doctorants.



- **Intitulé de l'équipe** : Nonlinear Optics of Liquid Crystals
- **Responsable** : Stefania RESIDORI
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES)** :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	1	1
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	1	1
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)		
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	2	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	1	1

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production** :

Les recherches menées dans le groupe animé par Stefania Residori reposent sur une connaissance et une maîtrise exceptionnelle des dispositifs utilisés et des matériaux qui les constituent. En effet, les cristaux liquides montés en valves optiques ou utilisés comme modulateurs spatiaux de lumière sont envisagés comme des outils permettant à l'équipe de réaliser des dispositifs tests montés dans des configurations très variées. Ils réalisent une large gamme de systèmes dynamiques optiques, non linéaires, présentant ou non du bruit, susceptibles d'être le siège de mélanges à quatre ondes, de présenter des phénomènes d'auto-organisation (motifs périodiques, solitons de cavité), des états dynamiques singuliers (ondes scélérates), mais aussi de la lumière lente et des dispositifs optiques adaptatifs, réfractifs ou holographiques.

Parmi les résultats marquants du groupe citons les premières démonstrations de motifs ou de fragments de motifs périodiques inscrits sur réseau de phase de différents ordres de symétrie, la démonstration de contrôle et d'adressage de solitons de cavité réalisée dans une démarche de continuité avec l'étude des motifs périodiques et également la démonstration d'événements optiques extrêmes s'apparentant aux ondes scélérates en hydrodynamique. Enfin, l'observation de lumière lente en configuration de mélange à deux (quatre) ondes est particulièrement astucieuse. Plus généralement, les réalisations expérimentales sont, en général, ingénieuses.

Chaque phénomène physique et chaque expérience s'est traduite par des résultats remarquables, ayant donné lieu à des publications dans des journaux à fort impact. 45 articles dans des revues à Comité de lecture, 18 communications orales invitées. C'est un résultat impressionnant compte tenu du faible nombre de permanents. Cette équipe bénéficie d'un réseau de collaborations très efficaces, dans une dizaine de pays européens et sud-américains. Durant cette période, deux doctorants ont été encadrés.

Les cristaux liquides, nous le savons, sont des systèmes extrêmement fiables et modélisables, et c'est à ce titre qu'ils ont permis à l'équipe de valider nombre des phénomènes qu'ils ont étudiés. Ils ont cependant le défaut connu de posséder un temps de réponse relativement lent, ce qui limite les applications pratiques à des transferts soit vers des matériaux plus rapides soit vers des utilisations où la rapidité de réponse n'est pas critique.

C'est le cas précisément des démonstrations de systèmes optiques adaptatifs dont les retombées applicatives font d'ores et déjà l'objet de collaborations orientées vers le transfert vers l'industrie.



- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

Comme nous l'avons signalé, le groupe a bénéficié en 2009, du recrutement d'un chercheur italien, dont la compétence à la fois expérimentale et théorique a fortement contribué à l'augmentation des résultats du groupe en qualité et en volume. Cette augmentation de la force de frappe a également permis de nourrir deux projets nationaux (ANR et CG Alpes Maritimes), 3 projets binationaux et un projet ESF, et de développer des actions de valorisation vers l'industrie (Thales) ainsi que le dépôt d'un brevet.

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet proposé se situe dans une stricte continuité du travail des quatre années écoulées. On y retrouve les mêmes thématiques. Il semble cependant que le centre de gravité des études se déplace vers les perspectives d'applications ce qui constitue une politique très cohérente avec les avancées enregistrées au cours de l'exercice écoulé. La prise de risques associée semble plus faible que pour l'exercice précédent mais l'heure semble se prêter davantage à la capitalisation de leurs acquis fondamentaux.

- **Conclusions**

Ce groupe a fait preuve au cours des quatre années passées d'une vitalité et d'une inventivité remarquables. Il tire sa force de son aptitude à maîtriser un système que ses membres savent rendre versatile et avec lequel ils abordent des problèmes d'optique et de dynamique non linéaires très pertinents.

Une orientation plus marquée vers des applications semble devoir être prise, sens vers lequel on ne peut que les encourager à s'engager.



- **Intitulé de l'équipe** : Semiconductor laser dynamics
- **Responsable** : Massimo GIUDICI
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES)** :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	2	2
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	2	2
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)		
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	1	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	3	3

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production** :

Cette équipe est l'une des quelques équipes-phare dans le monde étudiant la dynamique spatio-temporelle des systèmes optiques non linéaires à cavités à base de semi-conducteurs. Ils ont dans le passé (2001) réalisé une première mondiale en démontrant l'existence de solitons de cavité, à l'échelle micrométrique, dans ce type de dispositifs en régime d'amplification. Durant l'exercice écoulé, ils ont développé ces études dans des systèmes en régime d'émission laser et obtenu des résultats à l'état de l'art.

Les objectifs consistent en l'étude et l'exploitation des propriétés de la lumière découlant de l'auto-organisation par brisure spontanée de symétrie d'invariance par translation dans le plan transverse, à des fins à la fois fondamentales et applicatives. Parmi les états étudiés notons : les solitons de cavité, leurs interactions avec les défauts matériels et les inhomogénéités du champ optique exciteur, ainsi que les instabilités et les effets stochastiques, et enfin les conditions d'apparition du verrouillage de mode en cavités de large section, étendues dans la direction longitudinale. Ces études constituent un volet de l'optique relativement peu étudié dans le monde hormis en Europe. Celui-ci est organisé en une communauté de taille relativement modeste mais dont les interactions sont fortes et nourries. En particulier elles se sont traduites par des participations à 3 projets bilatéraux et 1 projet européen (STREP/FunFACS). Compte tenu de cet état de fait, le volume des publications et leur qualité est à souligner particulièrement. Il compte 18 articles dans des revues majeures dont 5 PRL.

Parmi les résultats saillants de l'équipe, il faut noter l'observation de solitons de cavité dans des cavités laser à absorbants saturables, la démonstration du contrôle du déplacement des solitons de cavité par des gradients de champs et l'interopérabilité entre défauts de matériaux et gradients de champ.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement** :

Les 24 conférences invitées et la médaille de bronze, attribuée à l'un des membres de l'équipe, attestent du rayonnement remarquable de cette équipe. Ce dernier constitue un atout majeur dans son aptitude à tisser des collaborations et attirer des jeunes chercheurs ou des chercheurs confirmés au Laboratoire pour des périodes plus ou moins longues. Si l'Italie est le pays de provenance majoritaire des visiteurs et des post-doctorants, il faut souligner



également les collaborations entretenues avec l'IMEDEA (Palma de Majorque), l'ISC (Florence), l' Université de Strathclyde (Glasgow), et ULM Photonics, ainsi que l'Université du Colorado (Fort Collins).

Ce rayonnement et la stabilité des collaborations internationales fondent largement la crédibilité de l'équipe et son aptitude à obtenir des financements. On note cependant, récemment, un fléchissement marqué de ces derniers et l'on ne peut que souscrire à la volonté manifestée par cette équipe à consacrer un effort particulier à y remédier.

- **Appréciation sur le projet :**

Pour l'exercice à venir, si l'étude sur les lasers à solitons de cavité que l'équipe conduit, semble se prolonger naturellement vers celle des balles de lumière, des phénomènes nouveaux appartenant au spectre des phénomènes dynamiques non linéaires viendront élargir leur champ d'études : l'excitabilité et la détection de particules, les systèmes neuro-mimétiques, l'analyse d'ensembles de systèmes chaotiques. Associée à ces sujets d'ordre fondamental, la recherche de retombées applicatives à ces études est un objectif affiché et validé par le dépôt de deux brevets.

- **Conclusions :**

Cette équipe est une équipe-phare du laboratoire, relevant de l'excellence. Elle possède une composition équilibrée à la mesure des ambitions de son projet pour les quatre années à venir. Elle bénéficie d'une réserve d'études et de phénomènes à explorer importants ainsi que d'opportunités intéressantes de transformer celles déjà mûries en des applications exploitables.

Un élément essentiel résidera dans son aptitude à mobiliser des ressources financières.

- **Intitulé de l'équipe :** Physique Théorique
- **Responsable :** Thierry GRANDOU
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :**

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	3	4
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	1	1
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	2	3
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)		
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)		
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	3	3

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**

Le petit groupe de physique théorique regroupe les théoriciens de l'INLN spécialisés dans les thématiques de physique mathématique et de physique des hautes énergies. Ce groupe était devenu sous critique en taille en 2007



après des départs en retraite, ne comprenant plus que deux enseignants chercheurs et un chercheur CNRS et ses thématiques de recherche étant très resserrées. Depuis l'activité du groupe a évolué positivement.

Les thématiques en cours ont été poursuivies. Les calculs perturbatifs dans les théories de jauge, QED et QCD, en collaboration avec l'U. de Brown USA ont conduit à plusieurs publications. Des résultats potentiellement intéressants sur le développement de méthodes pour effectuer la sommation sur les processus d'échanges de gluons virtuels en QCD ont été publiés et sont en cours depuis deux ans.

Dans le domaine des théories de jauge à température finie, des résultats potentiellement intéressants sont également obtenus sur la nature du problème IR. Dans ces deux sujets les collaborations avec les USA et à l'intérieur du groupe perdurent.

Les travaux sur les théories relativistes ont été poursuivis. Il faut souligner qu'ils ont conduit à développer un projet expérimental avec le groupe d'optique non linéaire de l'INLN, projet intéressant en cours.

Un nouveau sujet, le développement de méthodes théoriques pour les systèmes quantiques à petit nombre de corps, est apparu grâce au recrutement récent d'un MC. L'activité en bonne, les collaborations en cours avec le groupe de Pise se poursuivent (physique nucléaire des basses énergies). Des collaborations s'établissent dans le groupe.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

Le groupe de physique théorique est assez isolé thématiquement dans le laboratoire, et dans l'environnement Niçois. Ceci n'est pas a priori un problème insurmontable, le groupe semble bien intégré dans le laboratoire, les thématiques actuelles sont soutenues dans le projet de l'INLN et le maintien d'une activité de physique mathématique/physique des hautes énergies/théorie quantique des champs sur Nice est important. On pourrait imaginer plus de contacts avec le LJAD. Le groupe n'attire clairement pas assez d'étudiants ni de postdocs. Des groupes importants dans ces thématiques existent dans le sud-est (Marseille, Montpellier, Annecy) mais les relations entre ces équipes et le groupe de l'INLN semblent pour l'instant faibles. La visibilité internationale est clairement à améliorer. Le groupe n'attire clairement pas assez d'étudiants ni de postdocs. Deux enseignants-chercheurs venant de l'IUFM viennent juste d'intégrer ce groupe, ce qui est a priori positif.

- **Appréciation sur le projet:**

La poursuite des activités en QCD et en théorie des champs à température finie est tout à fait pertinente. Mais le développement des contacts avec les groupes théoriques et expérimentaux régionaux voisins est indispensable, afin de valider et valoriser les résultats, d'approfondir les conséquences et applications expérimentales, et de comparer les prédictions théoriques à celles des nouvelles approches et techniques de calculs (notamment pour les amplitudes de diffusion dans les théories de jauge) qui sont un sujet en plein développement dans les autres équipes en France et en Europe.

Les activités dans la physique des systèmes à petit nombre de corps doivent être encouragées, notamment le développement des contacts avec le groupe des atomes ultrafroids (déjà entamé) et de projets communs.

On pourrait imaginer des projets avec le LJAD.

Les dernières arrivées sont très récentes (après la rédaction du rapport), et il n'a pas pu nous être présenté de projet de recherche local sur de nouvelles thématiques. Le comité ne se prononce donc pas sur de futures activités.

- **Conclusions :**

L'équipe est en évolution positive en termes d'activité et de diversification. Cet effort doit être poursuivi vigoureusement.

Développer les projets collaboratifs avec les autres équipes de l'INLN, atomes ultra-froids, physique non-linéaire. Développer les relations avec les équipes françaises dans les domaines de la physique des hautes énergies. Améliorer la visibilité scientifique nationale et internationale de l'équipe. L'attractivité pour des étudiants et jeunes chercheurs passe par là.



- Intitulé de l'équipe : Atomes froids
- Responsable : Robin KAISER
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	1	1
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	1	1
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)		
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	6	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	2

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :

L'activité de recherche est essentiellement expérimentale et s'articule sur deux principaux projets : le projet rubidium porte sur l'étude du comportement des photons dans un gaz d'atomes froids, plusieurs aspects sont explorés : (i) l'étude de la statistique non gaussienne des photons, le groupe a fait une percée en observant pour la première fois les vols de Levy des photons dans un gaz atomique. (ii) L'étude et la réalisation de cavités lasers où le milieu amplificateur est constitué par un nuage d'atomes froids. L'équipe a étudié différents régimes d'émission laser (Mollow laser, Raman laser,...). L'objectif à court terme est la réalisation d'un laser aléatoire où le milieu à gain et le milieu diffusant sont constitués par les mêmes atomes, les résultats préliminaires sont très prometteurs.

Parallèlement, le groupe a étudié la dynamique du nuage d'atomes froids dans un piège magnéto-optique de grande taille. Cette étude a mis en évidence des modes collectifs et le couplage non linéaire entre ces modes, elle aussi permis de comprendre le rôle des interactions de longue portée dans l'apparition des instabilités collectives et de faire un parallèle avec la physique de plasma.

Dans le futur l'équipe souhaite focaliser son activité sur la mise en évidence de la localisation de la lumière dans un gaz d'atomes froids. Ce problème est non trivial car le désordre induit par les fluctuations de la densité d'atomes est en faveur de la localisation d'Anderson alors que la superradiance de Dicke (effets coopératifs) induit une délocalisation. Le groupe a déjà observé la réduction de la force radiative exercée sur les photons qui représente la signature de la diffusion coopérative.

Il est important de souligner que cette activité expérimentale est soutenue par un travail théorique conséquent réalisé soit par les membres du groupe eux-mêmes soit par des collaborateurs internes et externes à l'INLN.

Le projet « strontium » est plus récent, le dispositif expérimental est aujourd'hui fonctionnel. Les points marquants de ce projet sont (i) la réalisation du piégeage cohérent de populations sur une transition atomique étroite ; (ii) l'observation de la transmission cohérente de la lumière laser à travers un milieu atomique diffusant.

Le nombre de publications (23 ACL) est très bon, avec des articles de qualité dans des revues internationales à fort impact (PRL, Nature physics,...). On note aussi l'obtention d'un brevet.



- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

Le nombre d'invitations à des conférences (15 internationales et 7 nationales) témoignent de la notoriété des membres de l'équipe et de ses travaux. On souligne également le succès de l'équipe dans l'obtention d'un contrat ANR (CAROL) et de quatre financements spécifiques (CG Alpes Mar. CR PACA, LNE). L'équipe jouit d'une très bonne attractivité jugée par le nombre de collaborations étrangères et le nombre d'étudiants en thèse (5 thèses en cours).

On note également l'implication des membres de l'équipe dans des responsabilités scientifiques et d'enseignement et dans la structuration de la communauté scientifique : organisation de workshops et conférence internationale à Nice, coordination du réseau européen INTERCAN, participation au conseil national des universités section 30...

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet « rubidium » s'inscrit dans la continuité avec des orientations originales et parfaitement cohérentes. Ce projet se décline en plusieurs thématiques parfois complémentaires. Il présente de très faibles risques car il s'appuie sur une démarche scientifique systématique et fiable qui combine la théorie et l'expérience. Le projet « strontium » possède un fort potentiel, à titre d'exemple, l'isotope fermionique du strontium a un spin électronique nul et un spin nucléaire égale $9/2$, un tel système est parfait pour étudier les symétrie SU(N) et présente un diagramme de phase particulièrement riche. En revanche les perspectives réelles affichées par l'équipe nous semblent floues. Le permanent porteur de ce projet est fortement impliqué dans le projet FermiCold entre le CNRS et le CQT (Center for Quantum Technologies) à Singapour, et souhaite prolonger sa délégation CNRS pour rester quelques années encore, à Singapour.

- **Conclusions :**

En conclusion, cette équipe détient un fort potentiel de compétences expérimentales et théoriques. Le point fort de cette équipe est qu'elle a su faire évoluer- brillamment- sa thématique initiale «diffusion multiple de la lumière dans les gaz atomiques » vers des sujets plus complexes et très originaux. Au cours de la période elle a fait preuve d'une grande créativité et d'un grand dynamisme qu'il lui faudra conserver pour ses projets futurs. La qualité des travaux réalisés par l'équipe est du meilleur niveau au plan national et international ; ceci lui confère notoriété et visibilité sur ces deux plans. En revanche, il faut noter qu'actuellement cette équipe repose sur un seul permanent qui encadre un nombre important de doctorant et post-doctorants. Pour maintenir sa productivité scientifique et développer ces projets formidables, cette équipe doit être soutenue en particulier par le recrutement de chercheurs ou d'enseignant-chercheurs confirmés, tout en gardant une attention particulière à l'organisation de la vie interne de l'équipe et donc son unité.



- **Intitulé de l'équipe** : Systèmes quantiques fortement corrélés et atomes ultrafroids
- **Responsable** : George BATROUNI
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES)** :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	3	3
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	2	2
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	1	
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)		
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	2	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	4	4

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production** :

L'équipe « Systèmes quantiques fortement corrélés et atomes ultra-froids » a été créée en 2007 par un redéploiement interne et le recrutement d'une jeune professeure. Son activité est principalement théorique avec une faible composante expérimentale et l'objectif d'étudier les ondes de matières et les systèmes fortement corrélés. Les thèmes abordés sont très diversifiés et s'appuient sur une démarche qui combine l'approche analytique avec des calculs type « Quantum Monte Carlo ». Cette spécificité du groupe est fortement appréciée par la communauté « Monte Carlo ». L'activité de recherche s'articule autour de l'étude des phases quantiques non standards que l'on observe quand les atomes sont placés dans un réseau optique, elle inclue aussi l'étude du régime d'équilibre et les propriétés dynamiques des gaz quantiques. L'intérêt de l'équipe s'étend sur un ensemble de phases : super-solides, de verre de Bose, ferro et anti-ferromagnétiques ainsi que celles des états de « Fulde-Ferrel-Larkin-Ovchinnikov. Le point marquant concerne l'étude des phases quantiques d'un système de fermions placé dans un réseau optique en nid d'abeille « type Graphène ». Ce travail a permis d'étudier l'impact des interactions attractives et le diagramme de phase à température nulle du système de fermions (cross over BEC-BCS) et de proposer un cadre pour une réalisation expérimentale.

L'activité expérimentale de l'équipe a été récemment couronnée par la réalisation d'un condensat de Bose-Einstein de rubidium. Ce dispositif expérimental devrait être exploité pour étudier l'impact des corrélations du désordre sur la localisation d'Anderson à une, deux et trois dimensions. Il faut aussi souligner que ce projet s'inscrit dans le cadre d'une étroite collaboration d'une part, entre les théoriciens et l'expérimentateur du groupe et d'autre part, avec l'équipe « Optique non linéaire et cristaux liquides » qui fournirait les composants optiques nécessaires pour générer le potentiel lumineux désordonné.

La qualité des résultats obtenus par les membres de l'équipe est indéniablement illustrée par le nombre de publications (49 ACL), avec des articles de qualité dans des revues internationales à fort impact (PRL, PRA, PRB,...).

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement** :

L'équipe a bénéficié en 2007 du recrutement d'une jeune professeure qui œuvre pour consolider la collaboration entre théoriciens et expérimentateurs au sein du groupe. Actuellement le groupe accueille deux



doctorants et un post-doctorant. On note également l'implication des membres de l'équipe dans des responsabilités scientifiques et d'enseignement et dans la structuration de la communauté scientifique ; à titre d'exemple (liste non exhaustive) : (i) organisation de conférences internationales, colloques et écoles thématiques à Nice et ailleurs. (ii) coordination de GDRs, responsabilité de projets nationaux et européens. (iii) direction de la fédération de recherche W. Döblin.

Soulignons aussi le grand dynamisme des membres de l'équipe, qui s'investissent dans l'élaboration de collaborations solides et constructives à l'échelle nationale (IOTA, LKB, ENS Lyon, LPMMC Grenoble) et internationale (USA, Israël, Italie, Singapour) offrant ainsi, à l'INLN, une grande visibilité. A ce titre, un des membres de l'équipe est très impliqué dans la mise en place d'une équipe jointe CNRS- CQT (Center for Quantum Technologies) à Singapour ; dans le cadre du projet FermiCold, il assure la direction française de cette équipe.

- **Appréciation sur le projet :**

L'équipe étant créée récemment, il est normal que son projet s'inscrive dans la continuité pour consolider ses thématiques. Le projet théorique devrait être plus centré sur l'étude des phénomènes quantiques prédits par la physique de la matière condensée en s'appuyant sur le comportement des gaz atomiques placés dans des réseaux optiques bidimensionnels. Ce travail devrait aussi se faire dans la continuité de la politique de recherche de l'équipe qui s'articule sur de fortes collaborations nationales et internationales. Le projet expérimental semble plus circonscrit au sein de l'INLN et se dessine dans une perspective qui vise à mutualiser les compétences internes du groupe (théorie et expérience) avec celle de l'équipe « Optique non linéaire et cristaux liquides », cette démarche est tout à fait cohérente.

- **Conclusions :**

En conclusion, depuis sa création, cette équipe a fait preuve d'un dynamisme remarquable et a montré sa capacité d'aborder des sujets complexes et d'actualité dans un domaine très concurrentiel. L'excellente production scientifique en termes de publications et d'ouvrages montre que l'activité théorique est déjà très développée. L'activité expérimentale est encore à son début, mais montre des perspectives remarquables. Il faut souligner que la forte implication d'un des membres de l'équipe dans le projet FermiCold a eu un impact très positif sur le rayonnement de l'équipe. Notre seule recommandation est de plus valoriser l'activité expérimentale en encourageant plus d'investissement de la part des autres membres de l'équipe.



Intitulé UR / équipe	C1	C2	C3	C4	Note globale
Institut Non Linéaire de Nice (INLN)	A+	A+	A	A	A
<i>Dynamique non linéaire</i>	A	A	Non noté	B	A
<i>Optique non linéaire des cristaux liquides</i>	A+	A	Non noté	A	A+
<i>Théorie des champs quantiques</i>	B	B	Non noté	B	B
<i>Dynamique des lasers et solitons de cavité en laser semi-conducteurs</i>	A+	A+	Non noté	A+	A+
<i>Atomes froids</i>	A+	A+	Non noté	A	A+
<i>Systèmes quantiques fortement corrélés et atomes ultra-froids</i>	A+	A+	Non noté	A+	A+

C1 - Qualité scientifique et production

C2 - Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement

C3 - Gouvernance et vie du laboratoire

C4 - Stratégie et projet scientifique

Statistiques de notes globales par domaines scientifiques

(État au 06/05/2011)

Sciences et Technologies

Note globale	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	Total
A+	6	9	12	8	12	11	58
A	11	17	7	19	11	20	85
B	5	5	4	10	17	8	49
C	2	1	2				5
Total	24	32	25	37	40	39	197
A+	25,0%	28,1%	48,0%	21,6%	30,0%	28,2%	29,4%
A	45,8%	53,1%	28,0%	51,4%	27,5%	51,3%	43,1%
B	20,8%	15,6%	16,0%	27,0%	42,5%	20,5%	24,9%
C	8,3%	3,1%	8,0%				2,5%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Intitulés des domaines scientifiques

Sciences et Technologies

ST1 - Mathématiques

ST2 - Physique

ST3 - Sciences de la terre et de l'univers

ST4 - Chimie

ST5 - Sciences pour l'ingénieur

ST6 - Sciences et technologies de l'information et de la communication