

# LIVRET DES STAGES DE RECHERCHE



*Année 2017 – 2018*



# SOMMAIRE

<b>4</b>	Dates importantes dans le choix du stage de recherche
<b>6</b>	Présentation
<b>10</b>	Déroulement du stage
<b>16</b>	Le rapport de stage et la soutenance
<b>20</b>	Les stages à l'étranger
<b>22</b>	Note – Rapport et soutenance
<b>27</b>	La convention de stage
<b>39</b>	Les stages de recherche validés par les départements
<b>40</b>	Département de biologie
<b>42</b>	Département de chimie
<b>48</b>	Département d'économie
<b>50</b>	Département d'humanités et sciences sociales
<b>68</b>	Département d'informatique
<b>72</b>	Département de management de l'innovation et entrepreneuriat
<b>76</b>	Département de mathématiques
<b>82</b>	Département de mathématiques appliquées
<b>90</b>	Département de mécanique
<b>104</b>	Département de physique

# DATES IMPORTANTES

## du stage de recherche



### Octobre 2017

Mise à disposition de la promotion du livret des stages de recherche, des rapports de stage des promotions antérieures, du catalogue des stages de l'année précédente sur le site du pôle SOIE (Stages, Orientation, Insertion professionnelle Relations Entreprises), – Stages de recherche.

Prise d'informations auprès du bureau des stages.

### Dans les départements :

Candidature et inscription à un stage: dès que le stage est finalisé, inscription en ligne sur ENEX NG « fiche stage de recherche » à imprimer, à faire signer par l'enseignant référent et à remettre au bureau des stages; établissement de la convention de stage.

Écrire aux Écoles de 4<sup>e</sup> année en convention et demander la validation du stage.

### Au plus tard le 14 décembre 2017 à 17 heures

Remplir en ligne la fiche « projet de stage de recherche » dans ENEXNG : il faut indiquer toutes les formations de 4<sup>e</sup> année envisagées (corps, Écoles françaises, masters), les projets de stage de recherche: département d'accueil (deux choix maximum), type d'organisme, localisation.

Il est impératif d'imprimer la fiche, de la faire signer par *l'enseignant référent (enseignant de l'option de rattachement)*, et de la déposer au bureau des stages.

Pour les stages à l'étranger, il est impératif de cocher « étranger », à défaut il ne sera plus possible de partir à l'étranger.

### 11 janvier 2018

Validation des candidatures de stage à l'étranger. Aucun projet de stage à l'étranger ne sera accepté après cette date.

### 16 février 2018 à 17 heures

**Choix définitif du stage de recherche.**

Date limite de remise des fiches de stage de recherche validées par les départements au bureau des stages. Les informations doivent

être vérifiées auprès de l'organisme d'accueil. Édition de la convention de stage.

## DÉBUT DES STAGES: LUNDI 26 MARS 2018

Départ anticipé possible sous réserve de l'autorisation de la DDCIP et du Cdt de promo (fiche à retirer au secrétariat des promotions et à faire signer par les 2 directions)

Tenir compte des impératifs de calendrier: derniers contrôles; rattrapages scolaires, passation du drapeau, états des lieux de sortie des caserts, pré-rentreées des Écoles en convention.

**Durée du stage:**  
**16 semaines minimum**

**Fin des stages:**  
**31 Août 2018 au plus tard.**

## Mai 2018

Remise d'un rapport d'étape à l'enseignant référent et au responsable de cotutelle si ceux-ci le demandent.

## 27 juin au 13 juillet 2018

1<sup>re</sup> session de soutenance

## 22 août au 7 septembre 2018

2<sup>e</sup> session de soutenance. Attention aux semaines de rentrée organisées la première semaine de septembre dans les écoles en convention et au début des cours de M2



Les notes  
sont remises  
le 6 septembre 2018  
au plus tard pour  
la 2<sup>e</sup> session du Jury  
de passage en  
4<sup>e</sup> année.

# PRÉSENTATION



La recherche est à la base de la création de connaissances mais c'est aussi un outil essentiel pour le développement de l'innovation et par conséquent pour le développement de l'activité des entreprises. La formation par et à la recherche est une composante fondamentale de la formation des élèves ingénieurs et des étudiants de Master de l'École polytechnique, leur permettant d'acquérir de nouvelles compétences et de nouveaux savoir-faire. Cette formation permettra à ceux qui se destinent à la recherche d'avoir une première expérience qui validera leur choix professionnel et aux autres d'avoir une expérience qui leur sera utile pour rapprocher les laboratoires de recherche du monde de l'entreprise.

Situé à la fin de la 3<sup>e</sup> année du cycle de formation d'ingénieur et de la 1<sup>re</sup> année du cycle Master de l'École polytechnique, le **stage de recherche** est pour chaque élève l'occasion d'effectuer un premier travail de recherche à caractère scientifique, qu'il soit théorique ou expérimental. Ce stage constitue une initiation à la recherche qui permet d'appréhender les enjeux et les mécanismes de la recherche et de la valorisation de la recherche.

Le stage de recherche se situe à une période charnière entre la formation d'approfondissement scientifique et la formation de spécialisation. La cohérence de la formation suivie durant ces deux années, dont la construction doit s'appuyer sur un projet personnel et professionnel réfléchi, est un élément très important de la formation à l'École polytechnique. Le stage de recherche doit donc être idéalement choisi en lien avec la formation déjà suivie et être cohérent d'une part avec la formation de 4<sup>e</sup> année du cycle polytechnicien ou en 2<sup>e</sup> année de Master, et d'autre part avec le projet personnel et professionnel de l'élève.



Le stage de recherche s'adresse à tous les élèves de 3<sup>e</sup> année du cycle polytechnicien et étudiants de l'année de Master, indépendamment de leur souhait de s'orienter vers les métiers de la recherche. Il se déroule, en France ou à l'étranger, dans un contexte académique (par exemple dans un laboratoire d'un organisme de recherche ou d'un établissement d'enseignement supérieur...), industriel (par exemple dans un centre de recherche et de développement d'une entreprise, dans une PME, dans une start-up...) ou dans une direction de l'Administration.

Il doit nécessairement comporter une composante recherche et il donne lieu à un rapport écrit et à une soutenance orale devant un jury.

## LE STAGE DE RECHERCHE A UNE DURÉE DE 16 SEMAINES MINIMUM.

Les objectifs pédagogiques définis pour ce stage sont de :

- permettre aux élèves de mettre à profit et de poursuivre le développement des connaissances scientifiques déjà acquises

dans le cadre de l'analyse d'un problème original impliquant une forte composante recherche ;

- faire l'apprentissage de la mise en œuvre d'une démarche scientifique dans un travail personnel de recherche fondamentale ou appliquée, sur une durée longue (recherche et synthèse bibliographique, définition des objectifs, choix de l'approche à mettre en œuvre et des moyens à mobiliser, validation des résultats obtenus, rédaction d'un rapport de synthèse et présentation orale des résultats) ;
- s'intégrer dans une équipe de travail académique ou industrielle et prendre contact avec la vie professionnelle ;
- réaliser, pour les stages à l'étranger, une véritable immersion culturelle et linguistique.

L'encadrement pédagogique d'un stage de recherche est assuré par un **enseignant référent**, enseignant-chercheur à l'École polytechnique. Le stagiaire est, par ailleurs, suivi sur son lieu de stage par un **tuteur de stage**.



Le stage donne lieu à un **rapport écrit** et à une **soutenance orale**. Le travail réalisé est évalué par un jury présidé par l'enseignant référent. La note attribuée est prise en compte dans le critère de suffisance permettant d'obtenir le diplôme d'ingénieur de l'École polytechnique et le passage en 4<sup>e</sup> année pour les élèves du cycle ingénieur et le passage en 2<sup>e</sup> année pour les étudiants de Master.

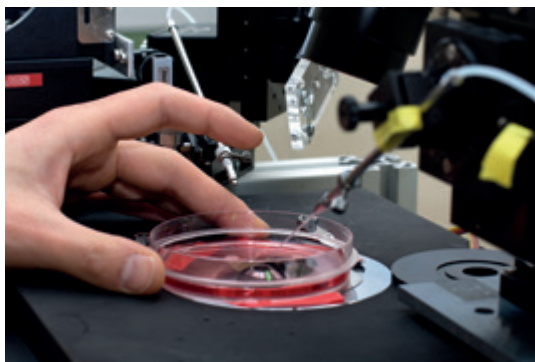
Les travaux effectués dans le cadre du stage de recherche qui se distinguent par leur originalité et leur profondeur sont récompensés par un **prix du stage de recherche**.

- Prix décernés par l'Académie des Sciences.
- Grand prix du stage de recherche
- Prix du stage de recherche par département.
- Prix du Centre de recherche : attribué au meilleur stage effectué dans un laboratoire de l'École.
- Prix de la Fondation : attribué au meilleur stage dont les résultats peuvent profiter aux entreprises dans la perspective de marchés mondialisés.
- Prix de l'AX : prix dont les résultats donnent lieu à une publication dans une revue scientifique internationale de haut niveau.
- Prix attribués par les Chaires de l'X
- Félicitations.



Les propositions de stages (sujet, lieu, directeur et tuteur de stage) qui émanent des différents partenaires, qu'ils soient académiques ou industriels, sont nécessairement validées par les départements d'enseignement et de recherche de l'École polytechnique (Biologie, Chimie, Sciences Économiques, Humanités et Sciences Sociales, Informatique, Mathématiques, Mathématiques Appliquées, Management de l'innovation et entrepreneuriat, Mécanique, Physique).

Les élèves peuvent rechercher et proposer un stage de recherche spécifique. Dans ce cas, il leur appartient de s'assurer que le projet envisagé est conforme aux objectifs fixés par l'École polytechnique et de le faire valider par le département concerné.



Pour les élèves du cycle polytechnicien, certaines formations à finalité professionnelle de 4<sup>e</sup> année intègrent le stage de recherche dans leur cursus. Dans ce cas, le stage peut se dérouler selon un calendrier et des modalités spécifiques et le stagiaire est également suivi par un enseignant-chercheur de l'établissement assurant la spécialisation (**stage en cotutelle**).

# DÉROULEMENT

## du stage

**L**es sujets des stages réalisés les années précédentes (à l'exception des travaux classés confidentiels) peuvent être consultés par les élèves :

- les rapports des stages peuvent être consultés sur ENEX et Gargantua.

Contact :

Uyen-Chi Nguyen

T. +33 (0)1 69 33 36 93

[uyen-chi.nguyen@polytechnique.edu](mailto:uyen-chi.nguyen@polytechnique.edu)

Bâtiment Petit Boncourt

### Le Bureau des stages du SOIE

La gestion pédagogique des stages de recherche (choix des sujets, validation, suivi du stage, planning des soutenances) est sous la responsabilité des départements d'enseignement et recherche de l'École. En revanche, la gestion administrative (suivi des fiches de stage de recherche, rédaction des conventions de stage, invitation aux soutenances des maîtres de stage et des responsables de la co-tutelle) incombe au bureau des stages qui est l'interlocuteur privilégié des élèves, des laboratoires et des entreprises d'accueil, pour l'organisation administrative du stage.

### La validation du stage de recherche

La première étape de la validation des stages de recherche est le renseignement de la « fiche de pré-inscription pour le stage de recherche » en ligne sur ENEX NG.

L'élève doit mentionner les départements choisis (deux au maximum, indiqués par ordre de préférence), les pays visés (un seul pays étranger) et les organismes envisagés. Les élèves indiquant un projet de stage de recherche à l'étranger devront au préalable s'être manifestés auprès de l'enseignant référent concerné. Il est rappelé que cette 1<sup>re</sup> étape est réalisée parallèlement au choix de formation de 4<sup>e</sup> année et qu'il est nécessaire

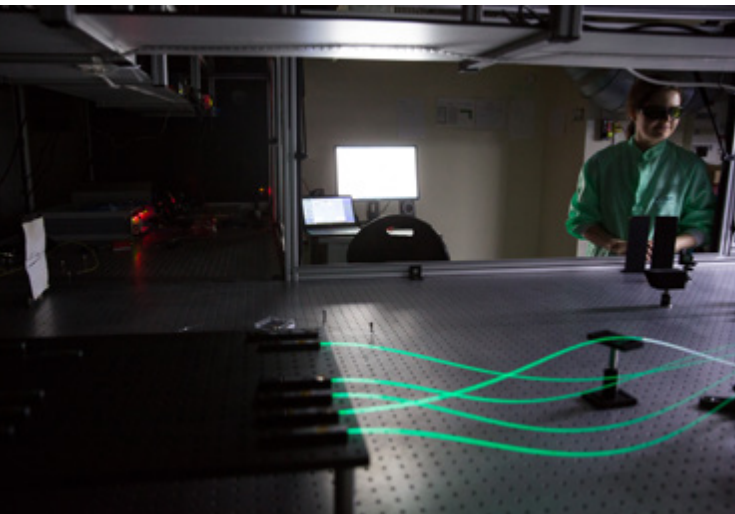


de faire valider, à ce stade de la procédure, le sujet de stage par la ou les formations de 4<sup>e</sup> année envisagées (Écoles en cotutelle).

La deuxième étape de la validation concerne les stages de recherche à l'étranger. Les candidatures à un stage de recherche à l'étranger sont examinées lors d'une réunion à laquelle participe l'ensemble des départements de l'École. L'examen des candidatures porte pour l'essentiel sur la motivation du candidat, sur ses résultats scolaires dans la ou les disciplines concernées par le stage et sur la faisabilité du stage envisagé. Les élèves ayant des insuffisances peuvent se voir refuser leur stage à l'étranger.

L'École établit ainsi la liste des élèves retenus pour effectuer un stage de recherche à l'étranger. L'ensemble des démarches spécifiques à entreprendre sont décrites sur le site des stages (obtention des visas, extension de la couverture sociale, souscription d'une assurance complémentaire). Il est rappelé que la mise en place d'un stage à l'étranger exige du temps et que le projet doit donc être assez bien défini mi décembre.

La validation anticipée d'un stage est possible avant la réunion de coordination de mi décembre par impression de la fiche de stage en ligne, signée de l'enseignant référent.



### ATTENTION

Les élèves officiers doivent faire une demande d'autorisation préalable à la DFHM pour tous les stages qui ont lieu en dehors de la France métropolitaine.

D'autre part, pour un élève officier tout séjour à l'étranger en dehors de la période de stage (tourisme) nécessite une demande de permission à la promotion.

**La troisième étape de la validation est l'inscription définitive pour un stage de recherche.** L'élève remplit la « fiche stage de recherche » sur ENEX NG, l'imprime quand toutes les rubriques sont renseignées, la fait signer par l'enseignant référent avec lequel le stage a été organisé. La période et le lieu de soutenance doivent être choisis en accord avec l'enseignant référent. La fiche

est alors déposée au bureau des stages qui peut établir une convention de stage.

### La validation du stage de recherche en cotutelle

Certaines formations françaises de 4<sup>e</sup> année en partenariat nécessitent une cotutelle de stage de recherche et donc des contraintes particulières concernant le sujet, les dates et l'organisation du stage.

Il est demandé aux élèves de prendre contact avec les responsables des formations de 4<sup>e</sup> année auxquelles ils ont postulé afin de faire valider le stage de recherche envisagé et de se voir attribuer un « cotuteur » par l'établissement partenaire.

L'enseignant référent peut refuser de signer une fiche qui n'a pas reçu un accord (par Email) de la part de l'établissement partenaire. Il est d'ailleurs recommandé, en particulier pour les stages à l'étranger, de vérifier le plus tôt possible (dès l'envoi des candidatures en formation de 4<sup>e</sup> année puis lors des entretiens de sélection), que le stage projeté est compatible avec le projet de formation de 4<sup>e</sup> année. Le sujet du stage de recherche validé, le responsable de la formation de 4<sup>e</sup> année désigne un tuteur chargé d'exercer la cotutelle du stage. Ce dernier, suit l'élève durant son stage et participe au jury de soutenance.

Le tableau ci-dessous récapitule pour chaque formation de 4<sup>e</sup> année en cotutelle l'orga-

nisation du stage de recherche, les scolarités spécifiques au stage de recherche et les points de contact – se référer au site <http://www.orientation4a.polytechnique.edu> Livret des FFP.

## La convention de stage

Après avoir confirmé leur choix de stage de recherche auprès d'un enseignant-chercheur responsable, les élèves doivent très rapidement prendre contact avec l'organisme d'accueil pour rencontrer la personne qui a proposé le sujet d'étude. Ces entretiens s'accompagnent souvent de démarches administratives à réaliser auprès des Directions des Ressources Humaines de l'établissement concerné.

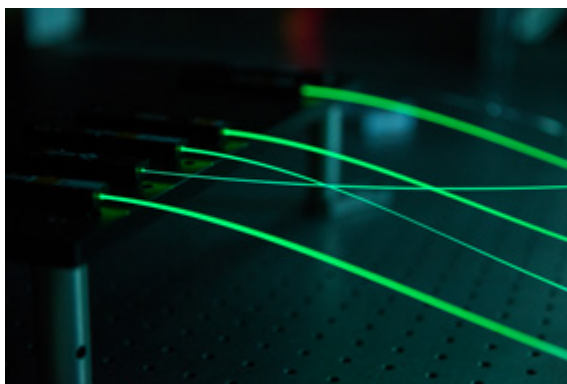
Parallèlement, à partir de la « fiche de stage de recherche » signée par l'enseignant référent, le Bureau des Stages édite la convention de stage en cinq exemplaires (voir convention type); La convention de stage doit impérativement avoir été établie avant le début du stage.

Aucune convention ne sera établie et signée par l'ensemble des signataires sans qu'une attestation de responsabilité civile ne soit fournie par l'étudiant.

## Le suivi du stage de recherche

L'encadrement de l'élève est assuré sur le lieu de stage par le tuteur de stage et, le cas échéant, par ses collaborateurs. L'élève doit rendre compte régulièrement à son enseignant référent et, en cas de cotutelle, à son cotuteur de l'état d'avancement de son travail et les tenir informés des problèmes éventuellement rencontrés dans le déroulement du stage. Il peut également solliciter tout conseil scientifique ou pratique auprès de son enseignant référent.

Des points de rendez-vous réguliers sont organisés par les directeurs de stage pour les élèves en stage en Ile-de-France. Les élèves en stage à l'étranger et en province doivent communiquer mi-mai à leur enseignant référent et, en cas de cotutelle, à son cotuteur un rapport d'étape précisant le sujet traité, les résultats acquis, les objectifs visés et, le cas échéant, les problèmes rencontrés.



## DÉROULEMENT

École	Cotutelle	Stage effectué au sein des laboratoires de l'École de 4 <sup>e</sup> année	Scolarité spécifique et/ou période de stage décalée
<b>AgroParisTech</b>	oui	oui	non
Catherine O'Quigley – Directrice des études – Courriel : catherine.oquigley@agroparistech.fr			
<b>CentraleSupélec</b>	oui	non	non
Fabienne Surraud – Courriel : fabienne.surraud@supélec.fr			
<b>Chimie ParisTech</b>	oui	non	non
Anne Varenne – Direction des Études – Courriel : scolarite@enscp.fr			
<b>ENSAE ParisTech</b>	non	non	non
<b>ENSEEIH</b>	oui	non	non
Jean-François Rouchon – Directeur – Courriel : jean-francois.rouchon@enseeiht.fr			
<b>ENSIMAG</b>	oui	non	non
Roland Groz – Courriel : roland.groz@imag.fr			
<b>ENSTA ParisTech</b>	oui	non	non
Gilles Vergnaud – Directeur de la formation et de la recherche – Courriel : dfr@ensta.fr Thomas Loiseux – Directeur Adjoint de la Formation et de la Recherche – Courriel : dfra@ensta.fr			
<b>HEC</b>	non	non	non
<b>IFP School</b>	oui	non	non
Jean-Christophe Fleche – Directrice du développement – Courriel : jean-christophe.fleche@ifpen.fr			

École	Cotutelle	Stage effectué au sein des laboratoires de l'École de 4 <sup>e</sup> année	Scolarité spécifique et/ou période de stage décalée
<b>INSTN</b>	oui	oui	non
Constance Coston – Directrice de la formation Génie Atomique – Courriel : constance.coston@cea.fr			
<b>LOGS</b>	oui	non	oui PA de physique et stage en optique
François Goudail – Professeur – Courriel : francois.goudail@institutoptique.fr			
<b>ISAE – SUPAERO</b>	oui	non	non
Christophe Sahri – Courriel : admission-ingenieur@isae-supaeero.fr			
<b>Mines ParisTech</b>	oui	non	à l'étranger
Jerôme Adnot – Directeur de l'Enseignement – Courriel : jerome.adnot@mines-paristech.fr Michele Effther – Stages – Courriel : michele.effther@mines-paristech.fr			
<b>Ponts ParisTech</b>	oui	non	non
Marie Mathieu-Pruvost – Directrice de l'enseignement – Courriel : marie.mathieu-pruvost@enpc.fr			
<b>Télécom Bretagne</b>	oui	non	non
Gabrielle Landrac – Directrice de la formation – Courriel : gabrielle.landrac@enst-bretagne.fr			
<b>Télécom ParisTech</b>		non	non
Marion Turgis – Stages – Courriel : marion.turgis@telecom-paristech.fr			

# RAPPORT DE STAGE

## et la soutenance

### Le rapport de stage

Le rapport demandé par l'École est un document de synthèse de 20 à 40 pages, présentant le travail réalisé par l'élève durant son stage. Au-delà des résultats scientifiques, la qualité et la forme de ce rapport sont des points importants à soigner : introduction, contexte dans lequel le travail a été effectué, analyse critique de la littérature, finalité du projet dans lequel il s'intègre, logique du raisonnement scientifique, bibliographie, conclusion, en n'oubliant pas l'orthographe.

Il est important de bien dissocier l'apport personnel de l'élève du contexte et des connaissances déjà en place lors du début du projet, de ne pas multiplier les annexes et de se limiter aux figures et tableaux de résultats importants. Le rapport est rédigé en français ou en anglais si le stage s'est déroulé à l'étranger et dans tous les cas dans une langue comprise par tous les membres du jury.

### Le document doit par ailleurs comporter :

- Une page de couverture rédigée selon le modèle joint en annexe.
- Une première page de « Déclaration d'intégrité relative au plagiat » (en annexe).
- En deuxième page, un résumé en français d'une demi-page au maximum et sa traduction en anglais, le tout sur la même page.

### Confidentialité

Certains organismes souhaitent que les travaux effectués restent « confidentiels ». Dans ce cas, il est demandé aux élèves de rédiger un rapport qui ne comporte pas d'information confidentielle. Celui-ci peut éventuellement être rédigé en deux parties indépendantes : la première de diffusion générale,



la seconde contenant les informations confidentielles et comportant en en-tête de chaque page la mention CONFIDENTIEL. Cette dernière sera restituée à l'issue de la soutenance à l'organisme d'accueil. Dans ce cas, la page de couverture ainsi que le résumé sur la 2<sup>e</sup> page ne doivent contenir aucune information confidentielle.

Remise du rapport de stage : la procédure est à définir en accord avec chaque enseignant référent.

#### Principes de base :

Au moins une semaine avant la date de la soutenance, l'élève doit remettre :

- deux exemplaires de son rapport (version papier) à l'enseignant référent ;
- un exemplaire du rapport (version papier) au cotuteur de stage pour les formations de 4<sup>e</sup> année en partenariat qui exercent une cotutelle ;
- un exemplaire sous forme électronique, au format pdf, du rapport NON CONFIDENTIEL est à déposer sur ENEX NG.

## La soutenance

La soutenance orale se déroule devant un jury que préside l'enseignant référent. Outre l'enseignant référent, le jury comprend des enseignants-chercheurs de l'École et le cotuteur de l'école de spécialisation. Le tuteur de stage est invité à participer à la soutenance. À défaut, un membre du laboratoire d'accueil ou de l'entreprise ayant suivi le stagiaire dans son travail pourra le représenter. En cas d'impossibilité, la fiche d'évaluation du stage<sup>1</sup> renseignée par le tuteur de stage et envoyée à l'enseignant référent (avec une



1. Elle est disponible au format pdf sur le site SOIE.

copie pour le Bureau des stages) permettra au jury de prendre en compte l'opinion du tuteur de stage.

Les soutenances sont organisées par l'enseignant référent. Elles se déroulent à l'École polytechnique selon deux sessions. La seconde session est réservée exclusivement à certains stages impliquant des contraintes académiques spécifiques. Certaines soutenances peuvent avoir lieu dans l'organisme d'accueil aux mêmes périodes. Ces modalités ne concernent que les élèves en stage dans un pays hors Europe.

Les demandes de soutenances à la seconde session et ou dans un pays étranger doivent être argumentées et visées par l'enseignant référent sur la « fiche stage de recherche » remise au Bureau des stages début février. Les élèves doivent prendre contact avec leur enseignant référent dès leur retour en France.

Le calendrier des soutenances est établi fin mai par l'enseignant référent en coordination avec les cotuteurs et les élèves. Le Bureau des Stages se charge de formaliser les invitations aux soutenances auprès des tuteurs de stage et des responsables de la tutelle.

La soutenance orale est publique sauf demande contraire de la part de l'organisme d'accueil pour raison de confidentialité. Elle consiste en une présentation de 30 à 40 minutes suivie d'une séance de questions de 15 minutes environ. La présentation doit être soignée et préparée : durée maîtrisée, discours structuré, support de présentation (transparents, vidéo-projections<sup>2</sup>, etc.) lisibles et adaptés. Une répétition au sein de l'équipe d'accueil est un exercice fortement conseillé.

Voir calendrier.

## La notation du stage de recherche

À l'issue de la soutenance, le jury délibère sous la présidence de l'enseignant référent.

### Le jury prend en compte :

- la qualité intrinsèque du travail réalisé (présence, sérieux, progression),
- la rédaction et la présentation du rapport,
- l'exposé oral et la pertinence des réponses aux questions posées.

---

2. Matériel de projection : les PC et amphis sont équipés d'un video-projecteur.

Il est ainsi fortement déconseillé de remettre des transparents en guise de rapport, de présenter longuement l'organisme d'accueil, de se contenter de recopier les méthodes standard propres à cet organisme, de profiter des contraintes de confidentialité pour rester vague, de présenter son travail comme un stage de découverte d'un monde nouveau ayant donné lieu à une succession de tâches passionnantes mais disparates...



## Le Prix du stage de recherche

Une note littéraire est attribuée à l'élève, de A à E; le critère de suffisance minimal permettant d'obtenir le diplôme d'ingénieur de l'École polytechnique et le passage en quatrième année est la note C. Le cotuteur (École partenaire) étant membre du jury de soutenance, la note attribuée est généralement commune à l'École polytechnique et à l'École partenaire. Il arrive néanmoins que chacun des deux établissements ait, en plus des critères communs d'évaluation, des exigences spécifiques; l'élève doit donc s'assurer que son travail satisfait bien aux exigences des deux Écoles.

Sur proposition des Départements d'enseignement et de recherche, les meilleurs travaux réalisés dans le cadre du stage de recherche sont primés. Leurs auteurs sont récompensés par un Prix remis lors d'une cérémonie à laquelle sont invités les directeurs de stage, les maîtres de stage des organismes d'accueil, les enseignants et personnels de l'École, les responsables de formation à finalité professionnelle et des personnalités du monde scientifique et économique, sont également invités tous les élèves

Les rapports des stages primés sont accessibles sur internet.

# STAGE

## à l'étranger

### Papiers officiels

Les élèves officiers doivent faire une demande d'autorisation préalable pour les voyages d'études hors de France métropolitaine à la DFHM. (Secretariat DFHM).

### Pour un stage en Europe

Une carte d'identité en cours de validité  
Une carte européenne d'assurance maladie (à demander impérativement à votre CPAM avant votre départ).

### Pour les autres pays

Un passeport et un visa qui varie selon les pays et selon votre statut.

Voir site SOIE  
<https://portail.polytechnique.edu/soie/fr>

### Assurance complémentaire

OBLIGATOIRE pour les stages hors CEE (sauf Québec)

- responsabilité civile, défense civile pénale et recours,
- rapatriement sanitaire,
- frais d'hospitalisation et médicaux sur place.

La convention de stage ne sera envoyée à l'organisme d'accueil que lorsque la preuve sera faite de cette assurance.

Pour un stage en France: assurance responsabilité civile.

### Couverture Accident du Travail par la Caisse des Français à l'étranger

- Si indemnité de stage inférieure à 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale couverture AT par votre caisse de SS,
- Si indemnité de stage supérieure à 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale prendre une assurance volontaire par exemple, auprès de la CFE.



## Divers

- Une réserve financière sur un compte bancaire est obligatoire dans certains pays,
- Les vaccins: se renseigner auprès des ambassades – site des affaires étrangères et Institut national de veille sanitaire,
- Si vous voulez conduire dans le pays, vérifiez bien la validité de votre permis. Ne faites pas usage d'un véhicule sans une assurance spécifique et le site du consulat renseigne sur le besoin ou non du permis de conduire international.

## Liens avec l'école

Un lien doit être maintenu avec l'école par mail ou par téléphone pour

- Informer l'École dans les plus brefs délais de toute modification d'une ou plusieurs données de la convention,
- Informer l'École de tout déplacement ou absence pendant le stage,
- Informer l'École de tout problème quel qu'il soit concernant le bon déroulement du stage et du séjour à l'étranger,
- Envoyer régulièrement un mail au tuteur administratif et/ou au tuteur pédagogique du stage mentionnant l'avancement de vos travaux et l'état de vos relations avec l'organisme d'accueil.

# NOTE

## rapport et soutenance

### 1. Rapport de stage de recherche

#### a) Rapports : nombre et destinataires :

- 1 semaine avant la soutenance au plus tard, sur le bureau de votre enseignant référent (enseignant-chercheur à l'X) : deux exemplaires.

Lorsque les soutenances se passent à l'étranger sur le lieu de stage : envoyer la version électronique des supports audiovisuels de votre présentation (format pdf).

Utilisez le courrier postal express DHL ; FEDEX, etc. (Se faire préciser l'adresse de l'envoi par votre enseignant référent). Ces rapports ne **doivent pas** être envoyés par courrier électronique (sauf demande expresse de votre enseignant référent).

- 1 semaine avant la soutenance pour le tuteur de l'École de 4<sup>e</sup> année (lorsqu'il est prévu une cotutelle) : Un exemplaire du rapport à envoyer par courrier postal express DHL ; FEDEX, etc. (Se faire préciser l'adresse de l'envoi par votre responsable de formation de 4<sup>e</sup> année : Ils sont définitivement désignés par l'École de 4<sup>e</sup> année en mai après le choix définitif de la formation de 4<sup>e</sup> année ; nom et E-Mail transmis).

- 1 semaine avant la soutenance pour l'École :

une copie au format pdf du rapport non confidentiel (code stage \_Nom\_Prénom)

À déposer sur ENEX

À partir de septembre-octobre, chaque élève peut vérifier que son rapport est sur le site. Si besoin impérieux de le retirer se révélait, merci de contacter le bureau des stages. Si confidentiel ne déposer que le résumé du travail.

#### b) Présentation :

Se référer aux rapports de stages des années précédentes sur le site des stages :

- Couverture : voir présentation en annexe.
- 1<sup>re</sup> page : « Déclaration d'intégrité relative au plagiat ».
- Résumé : chaque rapport doit comporter un résumé en français d'une demi-page au maximum et de sa traduction en anglais sur la même page.
- Nombre de page : de 20 à 40 maximum pages plus figures.  
**Attention à voir avec l'enseignant référent, par exemple en Biologie 20 pages maximum.**

- Contenu: Pas d'instructions précises. Vous serez surtout apprécié(e)s sur les points suivants:
  - Logique du raisonnement scientifique.
  - Analyse critique de la littérature.
  - Lien avec votre formation à l'X.

- Langue: Le rapport peut être rédigé en anglais pour les élèves en stage à l'étranger; l'important étant que le tuteur de stage et l'enseignant référent le comprennent.

#### c) Confidentialité:

- Le rapport est sous la responsabilité scientifique de l'organisme d'accueil et il appartient à cet organisme de s'assurer que celui-ci ne comporte pas d'information confidentielle.

Si cela s'avère indispensable, le rapport peut explicitement porter la mention **Confidentiel** sur sa première de couverture et dans ce cas seul un résumé d'une page sans élément confidentiel sera déposé sur le serveur au format pdf.

- L'enseignant référent doit posséder deux exemplaires du rapport complet pour pouvoir attribuer une note. Ces rapports seront restitués à l'issue de la soutenance ou conservés en lieu sûr par ce dernier, selon les instructions de votre tuteur de stage (organisme hôte).

## 2. Soutenance

### a) Lieu et date:

Si la soutenance a lieu à l'École, le calendrier est à formaliser avec votre enseignant référent au plus tard fin mai/début juin.

Si la soutenance a lieu sur votre lieu de stage, (ce cas de figure ne se présente que pour les stages qui se déroulent dans des pays lointains et dans la mesure où votre enseignant référent à l'École a accepté que vous organisiez votre soutenance sur place) il faut néanmoins fixer la date de soutenance en accord avec votre enseignant référent de l'École.

### b) Durée:

La soutenance est publique sauf en cas de confidentialité du travail; elle comprend un exposé de 20 à 30 minutes.

Attention: cette durée est variable; il faut vous renseigner auprès de votre enseignant référent.

Les élèves sont invités à préparer activement cet oral. L'utilisation de transparents, réalisés avec soins, est conseillée.

L'exposé est suivi de questions posées par le jury (env.10 à 15 minutes).

*c) Jury:*

## ➤ Si la soutenance a lieu à l'École :

La soutenance est présidée par votre enseignant référent et un autre membre du Département d'enseignement et de recherche associé à votre stage.

Votre tuteur de stage est cordialement invité à la soutenance dans la mesure de ses disponibilités. En cas d'impossibilité, notamment en cas de stage à l'étranger, votre tuteur de stage voudra bien rédiger une appréciation sur le travail réalisé et la manière dont il a été conduit qu'il adressera par courriel à votre enseignant référent avant la date de votre soutenance.

**PS.** Le Bureau des Stages adresse à votre tuteur de stage une invitation à votre soutenance, un courriel explicatif et une fiche d'évaluation qu'il doit envoyer à votre enseignant référent et à votre directeur de cotutelle si vous faites une 4<sup>e</sup> année en convention. Vous êtes en copie de ce courriel.

Pour les élèves dont le stage est en cotutelle : un tuteur est nommé par l'école que vous intégrez. Ce tuteur est membre du jury de votre soutenance.

## ➤ Si la soutenance a lieu sur votre lieu de stage (exceptionnellement accordé quand stages lointains)

La soutenance est présidée par votre tuteur de stage et les membres de son équipe. Dans ce cas, vous êtes responsable de la bonne organisation de votre soutenance. Votre tuteur de stage voudra bien faire parvenir son évaluation à votre enseignant référent au sortir de la soutenance par courriel ou par fax. Vous êtes chargés de lui donner les coordonnées précises de votre enseignant référent et la fiche d'évaluation envoyée par le bureau des stages.

Dans le cas d'une 4<sup>e</sup> année en convention, le tuteur de stage devra également envoyer son évaluation à votre cotuteur (ceci est précisé dans le courriel qui lui est envoyé).

**PS.** des courriels explicatifs sont envoyés en temps voulu à votre tuteur de stage et à votre cotutelle (vous êtes toujours en copie).

*d) Matériel de projection :*➤ Les salles de PC de l'École sont toutes équipées d'un rétro-projecteur ; dans le cas d'une projection à partir d'un ordinateur (power point par exemple), il faut au préalable réserver le matériel auprès de Fabien Dufour – Mél : [fabien.dufour@polytechnique.edu](mailto:fabien.dufour@polytechnique.edu)



### 3. Notation de l'École

Chaque élève est apprécié par son enseignant référent en concertation avec le tuteur de stage et, le cas échéant, le tuteur de l'école de 4<sup>e</sup> année au moyen d'une note littéraire (de A à E; le critère de suffisance minimal de troisième année se fonde sur un C)

Sont pris en compte pour l'établissement de cette appréciation :

- La qualité intrinsèque du travail réalisé;
- La rédaction et la présentation du rapport;
- L'exposé oral et la pertinence des réponses aux questions posées;
- La fiche d'évaluation de votre tuteur de stage.

### 4. Présentation de la 1<sup>re</sup> page

- Déclaration d'intégrité relative au plagiat.
- Voir modèle type.  
Merci de respecter scrupuleusement ce modèle pour faciliter la mise en ligne des rapports.

### 5. Précisions sur les critères de notation

- L'élève doit se montrer irréprochable dans les échanges avec tous les tiers avec qui il est amené à interagir, aussi bien au sein de l'École, de l'Établissement d'accueil et d'une manière générale, à l'extérieur.
- L'élève doit rendre les livrables intermédiaires et finaux en temps et en heure, sans qu'il soit nécessaire de le rappeler à l'ordre.
- L'introduction du rapport doit faire ressortir l'intérêt et la portée du sujet, d'une manière accessible au-delà de la communauté des chercheurs de la discipline concernée (à éviter: le document de type « rapport interne d'ingénieur » compréhensible seulement des encadrants du stage au sein de l'organisme ou de l'entreprise)

- Le rapport ne doit comporter ni digression, ni délayage ou développement inutile à la compréhension de la démarche et des résultats (à éviter: le rapport qui se transforme en cours générique sur un domaine scientifique que l'élève a découvert avec passion pendant son stage)

- Toute affirmation doit être justifiée, les hypothèses doivent être explicitées, les figures doivent avoir des titres, les axes doivent avoir des légendes et des unités, les résultats doivent être donnés avec des nombres de chiffres significatifs en rapport avec la précision des mesures et des modèles, etc.
- Le rapport ne doit pas faire dire aux sources (qui sont évidemment citées) et aux résultats autre chose ou davantage qu'ils ne peuvent dire.
- La bibliographie doit fournir une vision suffisamment complète et sincère de l'état de l'art, des approches et des travaux concurrents, et doit permettre de positionner le travail de stage par rapport à ces travaux; les références à la bibliographie doivent apparaître dans le corps de texte, en appui aux arguments qui y sont avancés.
- L'élève doit savoir s'organiser pour présenter son travail dans le temps imparti.
- L'utilisation des supports doit être bien préparée. Les supports doivent être organisés, clairs et lisibles, sans abus d'effets spéciaux.

Année universitaire: .....

# CONVENTION

## de stage

**L'ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR (ci-après « l'Établissement »)**

L'École polytechnique Université Paris-Saclay, 91128 Palaiseau Cedex, FRANCE

Représenté par Jacques Biot, Président de l'École polytechnique

Numéro de Siret: 19911568400011

Code NAF: 8542Z

Contact administratif: .....

@: ..... ☎: .....

**L'ENSEIGNANT RÉFÉRENT (ci-après « l'Enseignant »)**

Nom: ..... Prénom: .....

Département/Laboratoire/Service/Section: .....

@: ..... ☎: .....

**L'ORGANISME D'ACCUEIL (ci-après « l'Organisme »)**

Nom: .....

Adresse: ..... Pays: .....

N° SIRET: ..... Organisme: ☐ de droit français ☐ autre

Représenté par: ..... En qualité de: .....

@ signataire de la convention: ..... ☎ signataire de la convention: .....

Service d'affectation du stagiaire: ..... Adresse: .....

@ gestion administrative du stagiaire: ..... ☎ gestion administrative du stagiaire: .....

**LE TUTEUR DE STAGE (ci-après « le Tuteur »)**

Nom: ..... Prénom: .....

Fonction: .....

@: ..... ☎: .....

### LE STAGIAIRE (ci-après « le Stagiaire »)

Nom : ..... Prénom : .....  
 Adresse : .....  
 Intitulé de la formation suivie : .....  
 Volume horaire annuel de la formation (hors période de stage) : ..... INE : .....  
 Organisme d'affiliation de sécurité sociale étudiante : ..... Adresse : .....  
 @ : ..... ☎ : .....

### Conditions Particulières du stage

Sujet du stage : .....  
 Du : ..... Au : ..... Périodes d'interruption : ☐ non ☐ oui : .....  
 Soit : ..... semaines, soit : ..... heures. Présence hebdomadaire effective dans l'Organisme : ..... heures.  
 Si le stagiaire doit être présent dans l'Organisme la nuit, le dimanche ou les jours fériés, préciser les cas particuliers : .....  
 Compétences à acquérir : .....  
 Activités confiées : .....  
 Suivi par l'enseignant : ☐ méf ☐ contacts téléphoniques ☐ réunions Modalités d'évaluation : ☐ rapport de stage ☐ soutenance  
 Gratification : ☐ minimale (3.60€/h) ou ☐ autre : ..... Modalités de versement : ☐ virement ☐ chèque ☐ espèces  
 Nombre de jours de congés : ..... Avantages complémentaires accordés : .....

## Conditions générales

### Article 1 – Objet de la convention

La présente convention fixe les conditions générales et particulières régissant les rapports de l'Organisme avec l'Établissement et le Stagiaire.

### Article 2 – Objectif du stage

Le stage correspond à une période temporaire de mise en situation en milieu professionnel au cours de laquelle le Stagiaire acquiert des compétences professionnelles et met en œuvre les acquis de sa formation en vue de l'obtention d'un diplôme ou d'une certification et de favoriser son insertion professionnelle. Le Stagiaire se voit confier une ou des missions conformes au projet pédagogique défini par l'Établissement et approuvées par l'Organisme. Le programme du stage est établi en cohérence avec le programme de la formation dispensée.

### Article 3 – Pièces contractuelles

La convention de stage est composée de conditions générales, de conditions particulières ainsi que des éventuels avenants.

### Article 4 – Accueil et encadrement du stagiaire

Le Stagiaire est encadré par l'Enseignant et le Tuteur qui sont ses interlocuteurs privilégiés au cours du stage.

Le Stagiaire est autorisé à revenir dans l'Établissement pendant la durée du stage pour y suivre des cours explicitement prévus dans le cadre de sa formation, y passer des examens ou pour participer à des réunions ; les dates sont portées à la connaissance de l'Organisme par l'Établissement.

Toute difficulté survenue dans la réalisation et le déroulement du stage, qu'elle soit constatée par le Stagiaire ou par le Tuteur, est portée à la connaissance de l'Enseignant et de l'Établissement afin d'être résolue au plus vite.

### Article 5 – Gratification - Avantages

#### 5.1 – Gratification

Un stage d'une durée supérieure à 2 mois (à partir de la 309<sup>e</sup> heure de présence effective du stagiaire dans l'Organisme) consécutifs ou non, fait obligatoirement l'objet d'une gratification, sauf particularités de l'outre-mer et du L.4381-1 du code de la santé publique. Pour le calcul de la présence du stagiaire, 1 mois correspond à une présence effective de 22 jours, consécutifs ou non, et 7 heures de présence, consécutives ou non, comptent pour 1 jour.

La gratification est fixée par convention de branche ou accord professionnel, à défaut à 15 % du plafond de la sécurité sociale (soit 3,60 € par heure) ; défini en application de l'article L 241-3 du code de la sécurité sociale.

La gratification due par un organisme de droit public ne peut être cumulée avec une rémunération versée par ce même organisme au cours de la période concernée.

La gratification est due sans préjudice du remboursement des frais engagés par le Stagiaire pour effectuer son stage et des avantages offerts, le cas échéant, pour la restauration, l'hébergement et le transport.

L'Organisme peut décider de verser une gratification pour les stages dont la durée est inférieure ou égale à deux mois.

En cas de suspension ou de résiliation de la présente convention, le montant de la gratification due au Stagiaire est proratisé en fonction de la durée du stage effectuée.

La gratification due au Stagiaire est définie dans les Conditions Particulières.

#### *5.2 – Avantages – Accès aux droits des salariés*

Le Stagiaire bénéficie dans les mêmes conditions que les salariés de tous les avantages offerts par l'Organisme (restauration d'entreprise, titres-restaurants, prise en charge partielle des frais de transport, accès aux activités sociales et culturelles, etc.). Le stagiaire bénéficie également des protections prévues en matière de droit du travail et des libertés individuelles et collectives, sous réserve de restrictions justifiées par la nature de sa tâche à accomplir et proportionnées à l'objectif recherché.

Le stagiaire a accès au restaurant d'entreprise ou aux titres restaurant prévus à l'article L. 3262-1 du code du travail, dans les mêmes conditions que les salariés de l'organisme d'accueil. Il bénéficie également de la prise en charge des frais de transport prévue à l'article L. 3261-2 du même code et concernant les organismes publics dans les conditions du décret n° 2010-676 du 21 juin 2010.

Le stagiaire bénéficie des protections et droits mentionnés aux articles L.1121-1, L.1152-1 et L.1153-1 du code du travail, dans les mêmes conditions que les salariés.

#### **Article 6 – Régime de protection sociale**

Pendant toute la durée du stage, le Stagiaire conserve son statut d'origine et continue à bénéficier de la protection sociale dont il dépend.

Lorsque la gratification est inférieure ou égale à 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale, conformément à la législation en vigueur, celle-ci n'est pas soumise à cotisation sociale. Le Stagiaire continue à bénéficier de la législation sur les accidents du travail au titre de l'article L 412-8-2 du code la sécurité sociale, régime étudiant. En cas d'accident survenant au Stagiaire, soit au cours des travaux dans l'organisme d'accueil, soit au cours du trajet, soit sur les lieux utilisés pour les besoins de son stage, l'Organisme envoie la déclaration à la Caisse Pri-

maire d'Assurance Maladie du lieu de domicile du Stagiaire en mentionnant l'établissement comme employeur, avec copie à l'Établissement.

Lorsque la gratification est supérieure à 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale, les cotisations et contributions de sécurité sociale sont calculées sur le différentiel entre le montant de la gratification et les 15 % du plafond de la sécurité sociale pour une durée légale de travail hebdomadaire de 35 heures. Le Stagiaire bénéficie de la couverture légale en application des dispositions de l'article L 411-1 et suivants du code la sécurité sociale. En cas d'accident survenant au Stagiaire, soit au cours des travaux dans l'organisme d'accueil, soit au cours du trajet, soit sur les lieux utilisés pour les besoins de son stage, l'Organisme effectue toutes les démarches nécessaires auprès de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie et informe l'Établissement dans les meilleurs délais.

Pour les stages à l'étranger ou outremer :

- le Stagiaire reste couvert par son régime de sécurité sociale français lorsque sa gratification n'est pas susceptible d'ouvrir des droits à une protection accident de travail dans le pays d'accueil ; une indemnité ou gratification est admise dans la limite de 15 % du plafond horaire de la sécurité sociale, et sous réserve de l'accord de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie sur la demande de maintien de droit ;
- le Stagiaire s'engage à souscrire un contrat d'assistance (rapatriement sanitaire, assistance juridique...) et un contrat d'assurance individuel accident.

#### **Article 7 – Responsabilité et assurance**

L'Organisme et le Stagiaire déclarent être garantis au titre de la responsabilité civile.

L'Organisme est responsable de s'assurer des conditions dans lesquelles le Stagiaire peut utiliser un véhicule de l'Organisme ou son véhicule propre.

#### **Article 8 – Discipline**

Le Stagiaire est soumis à toutes les règles applicables au sein de l'Organisme, lesquelles sont portées à sa connaissance avant le début du stage, notamment en ce qui concerne le règlement intérieur, les horaires et les règles d'hygiène et de sécurité.

Toute sanction disciplinaire ne peut être décidée que par l'Établissement. Dans ce cas, l'Organisme informe l'Enseignant et l'Établissement des manquements et fournit tout élément permettant à l'Établissement de prendre une décision.

En cas de manquement particulièrement grave à la discipline, l'Organisme se réserve le droit de mettre fin au stage tout en respectant les dispositions fixées à l'article 9 de la présente convention.

### **Article 9 – Absences – Congés – Interruption du stage**

Conformément à l'article L124-5, la durée du stage ne peut excéder six (6) mois par année d'enseignement.

Toute absence ou congé du Stagiaire est préalablement autorisé par le Tuteur et l'Enseignant qui en informent respectivement l'Organisme et le service des stages de l'Établissement.

En France (sauf en cas de règles particulières applicables dans certaines collectivités d'outre-mer françaises ou dans les organismes de droit public), en cas de grossesse, de paternité ou d'adoption, le stagiaire bénéficie de congés et d'autorisations d'absence d'une durée équivalente à celle prévues pour les salariés aux articles L.1225-16 à L.1225-28, L.1225-35, L.1225-37, L.1225-46 du code du travail.

Pour toute autre interruption temporaire ou définitive du stage (maladie, absence injustifiée...) l'Organisme avertit l'Établissement par écrit. L'Établissement et l'Organisme s'accordent sur les conditions de poursuite, de report ou de fin du stage. Cet accord fait l'objet d'un avenant à la convention de stage. Par ailleurs l'Établissement décide d'éventuels aménagements des modalités de validation de la formation du Stagiaire.

En cas de volonté d'une des parties d'arrêter le stage, celle-ci doit immédiatement en informer les autres parties par écrit. Les raisons invoquées seront examinées en étroite concertation. La décision définitive d'arrêt du stage ne sera prise qu'à l'issue de cette phase de concertation.

### **Article 10 – Devoir de réserve et confidentialité**

Le devoir de réserve est de rigueur absolue et apprécié par l'Organisme compte-tenu de ses spécificités. Le Stagiaire prend donc l'engagement de n'utiliser en aucun cas les informations confidentielles recueillies ou obtenues pour en faire publication ou communication à des tiers sans accord préalable de l'Organisme, cela vaut pour le rapport de stage. Cet engagement vaut non seulement pour la durée du stage mais également après son expiration pour une période d'un (1) an. Le stagiaire s'engage à ne conserver, emporter ou prendre copie d'aucun document ou logiciel, de quelque nature que ce soit, appartenant à l'Organisme, sauf accord de ce dernier.

Dans le cadre de la confidentialité des informations contenues dans le rapport de stage, l'Organisme peut demander une restriction de la diffusion du rapport, voire le retrait de certains éléments confidentiels.

Les personnes amenées à en connaître sont contraintes par le secret professionnel à n'utiliser ni ne divulguer les informations du rapport.

### **Article 11 – Propriété intellectuelle**

Conformément au code de la propriété intellectuelle, dans le cas où les activités du Stagiaire donnent lieu à la création d'une œuvre protégée par le droit d'auteur ou la propriété industrielle, si l'Organisme souhaite l'utiliser et que le Stagiaire en est d'accord, un contrat devra être signé entre le stagiaire (auteur/inventeur) et l'Organisme.



Le contrat devra alors notamment préciser l'étendue des droits cédés, l'éventuelle exclusivité, la destination, les supports utilisés, la durée et le prix de la cession. Cette clause s'applique quel que soit le statut de l'Organisme.

Dans le cas où le stagiaire est salarié de l'Établissement, le contrat de cession devra être cosigné par celui-ci s'il porte sur des droits dont la propriété lui est légalement dévolue.

### **Article 12 – Fin de stage – Rapport – Évaluation**

*12.1* – À l'issue du stage, l'Organisme délivre (a) une attestation de stage telle que définie à l'article D. 124-9 du code de l'éducation et (b) une fiche d'évaluation de l'activité du Stagiaire.

Cette attestation est le document qui servira au Stagiaire pour prétendre aux droits du régime général d'assurance vieillesse selon les conditions fixées par l'article L.351-17 du code de la sécurité sociale.

*12.2* – Le stage donne lieu à une évaluation pédagogique par l'Établissement ainsi qu'à l'attribution d'une note assise sur la remise par le Stagiaire d'un rapport de stage (cf. conditions particulières).

*12.3* – Le tuteur de l'Organisme ou tout membre de l'Organisme peut être appelé à se rendre à l'Établissement dans le cadre du déroulement et de la validation du stage. À ce titre, il ne peut prétendre à une quelconque prise en charge ou indemnisation de la part de l'Établissement.

### **Article 13 – Droit applicable – Tribunaux compétents**

La présente convention est régie exclusivement par le droit français. Tout litige non résolu par voie amiable sera soumis à la compétence de la juridiction française compétente.

Fait à \_\_\_\_\_, Le \_\_\_\_\_, En cinq exemplaires originaux

---

L'ÉTABLISSEMENT

Nom et fonction

---

L'ENSEIGNANT RÉFÉRENT

Nom et fonction

---

L'ORGANISME d'ACCUEIL

Prénom et nom

---

LE TUTEUR DE STAGE

Prénom et nom

---

LE STAGIAIRE

Nom et fonction

---



## FICHE D'ÉVALUATION

Nous vous remercions d'avoir accueilli notre élève en stage de recherche et espérons que son travail vous a donné entière satisfaction.

Ce stage donne lieu à une évaluation par l'Ecole polytechnique. Les éléments suivants sont pris en compte :

- Le déroulement du stage ;
- Les rapports demandés au stagiaire par l'École ;
- La soutenance orale.

Cette fiche d'évaluation permet aux professeurs d'avoir un retour sur le déroulé du stage et sur le comportement de l'élève durant la période du stage.

Merci de remplir ce document et de le faire parvenir par e-mail au professeur référent de l'élève (vous trouverez son adresse mail en copie du mail envoyé) et à notre coordinatrice des stages de recherche, ophelie.doucet@polytechnique.edu avant le jour de la soutenance.

NOM DE L'ELEVE : .....

NOM DE L'ORGANISME D'ACCUEIL : .....

NOM DU TUTEUR (responsable du suivi de l'élève) : .....

AUTONOMIE	Excellent	Bon	Moyen	Faible
INITIATIVE	Excellent	Bon	Moyen	Faible
QUANTITE DE TRAVAIL	Excellent	Bon	Moyen	Faible
QUALITE DE TRAVAIL	Excellent	Bon	Moyen	Faible
RESULTATS OBTENUS	Excellent	Bon	Moyen	Faible
COMPORTEMENT GENERAL	Excellent	Bon	Moyen	Faible
INTEGRATION DANS L'EQUIPE	Excellent	Bon	Moyen	Faible
PRESENTATION DU TRAVAIL	Excellent	Bon	Moyen	Faible

COMMENTAIRES :

.....

.....

.....

ENCADREMENT DU STAGIAIRE :

Quotidienne	Hebdomadaire	Mensuelle
-------------	--------------	-----------

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PROMOTION X .....

MASTER: .....

NOM Prénom

Si binôme

NOM Prénom

*Modèle d'une première de couverture d'un rapport de stage*

## RAPPORT DE STAGE DE RECHERCHE

« INTITULÉ DU SUJET »

### RAPPORT CONFIDENTIEL

*(1<sup>re</sup> de couverture et résumé en français et en anglais seulement)*

OU

### RAPPORT NON CONFIDENTIEL

Option : Département de (exemple Mécanique)

Champ : (exemple : mécanique des matériaux et des structures)

Enseignant référent :

Tuteur de stage dans l'organisme :

Dates du stage :

Adresse de l'organisme :

Exemple :

COLUMBIA University

NASA Goddard Institute for Space Studies

2880 Broadway

New-York 10025 USA

## Déclaration d'intégrité relative au plagiat

Je soussigné(e) [nom, prénom] certifie sur l'honneur:

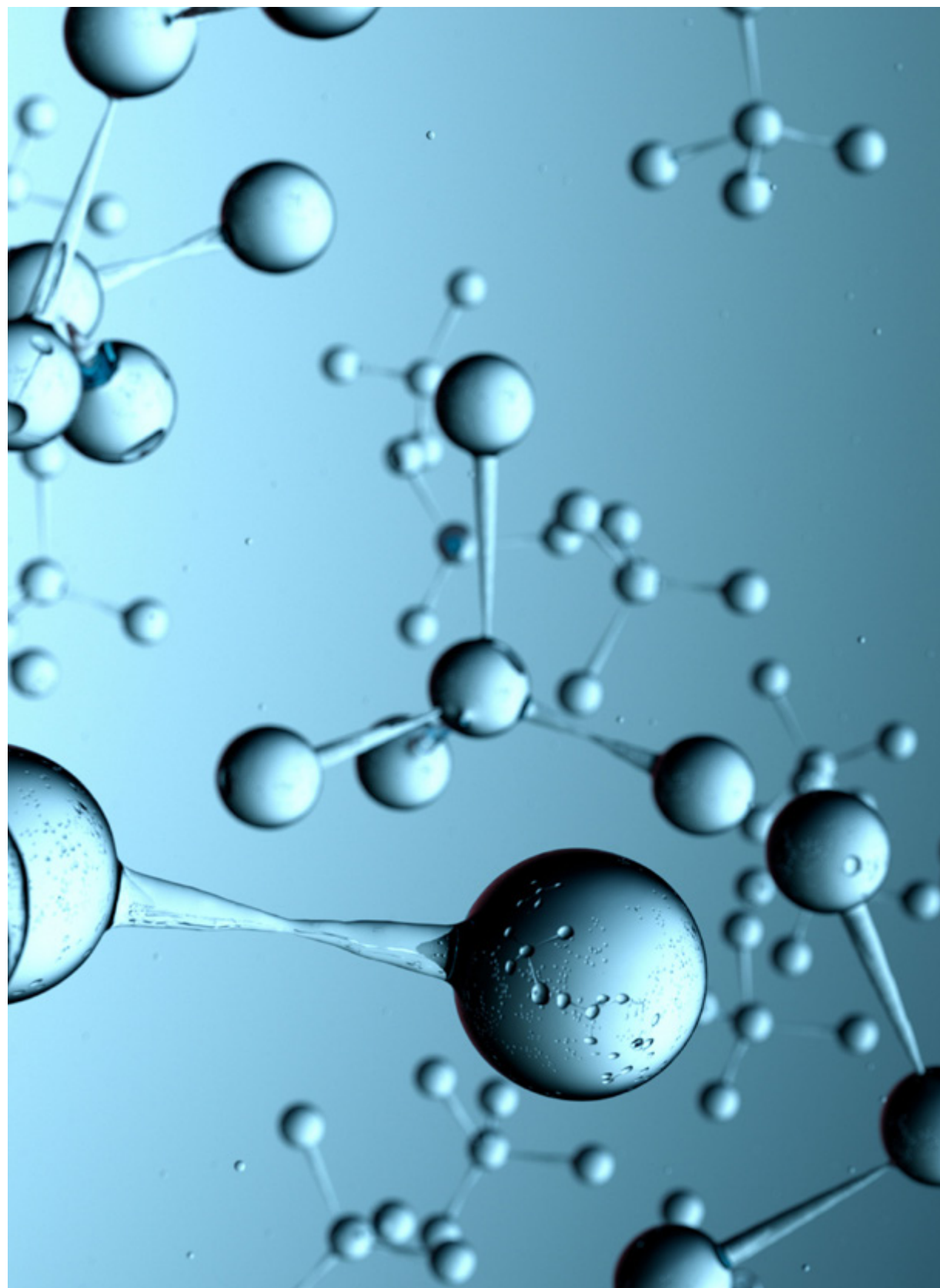
1. Que les résultats décrits dans ce rapport sont l'aboutissement de mon travail.
2. Que je suis l'auteur de ce rapport.
3. Que je n'ai pas utilisé des sources ou résultats tiers sans clairement les citer et les référencer selon les règles bibliographiques préconisées.

### **Mention à recopier**

*Je déclare que ce travail ne peut être suspecté de plagiat.*

Date .....

Signature





---

# STAGES DE RECHERCHE

Proposés  
par les départements

Une présentation plus détaillée est accessible sur le site  
<https://moodle.polytechnique.fr/>  
catalogue Moodle Ecole polytechnique

# BIOLOGIE

**Responsable :**

Yves Mechulam – T. +33 (0)1 69 33 48 85 – yves.mechulam@polytechnique.edu

**Enseignants :**

- Barakat Abdul – barakat@ladhyx.polytechnique.fr
- Ego-Stengel Valérie – valerie.stengel@unic.cnrs-gif.fr
- Nicolas David – nicolas.david@polytechnique.edu
- Alexis Gautreau – alexis.gautreau@polytechnique.edu
- Loïc Lepiniec – loic.lepiniec@versailles.inra.fr
- Hannu Myllykallio – hannu.myllykallio@polytechnique.edu
- Thomas Simonson – thomas.simonson@polytechnique.edu
- Emmanuelle Porcher – porcher@mnhn.fr (Stage en écologie)
- Olivier Tenaillon – olivier.tenaillon@inserm.fr

**Assistante du département :**

Catherine Morais – T. +33 (0)1 69 33 40 25 – catherine.morais@polytechnique.edu





## BIO591

### Biologie et Écologie

Ce stage de Recherche ouvre les laboratoires de recherche fondamentale, biomédicale, ou appliquée (industrie pharmaceutique, biotechnologie) aux élèves tentés par un approfondissement en Sciences de la vie, que ce soit en microbiologie, en virologie, en immunologie, en neurobiologie, en embryologie, en écologie... ou bien encore, en biologie structurale, en biologie moléculaire, en biologie cellulaire, en bioinformatique...

Les sujets de stages des années précédentes sont disponibles sur un espace de partage sécurisé sur le site internet de l'École polytechnique\_SOIE: (X2004 à X2013): <https://gargantua.polytechnique.fr/>

L'élève pourra, avec les conseils du coordinateur et des responsables, dessiner les contours thématiques de son stage, puis participer activement, grâce à la visite de laboratoires, à la définition ultime de son sujet de stage de Recherche.

Le stage de recherche scientifique en Biologie consiste en un travail de 16 semaines minimum en laboratoire. Ce stage peut avoir lieu dans un laboratoire de recherche fondamentale ou dans un laboratoire de recherche industrielle.

Les stages se déroulent en Province, à Paris ou en région Parisienne (CNRS, INSERM,

Institut Pasteur, Institut Curie, INRA, CEA, Universités...) et à l'Étranger (Etats-Unis, Allemagne, Japon, etc.)

En Sciences de la Vie, la recherche fait largement appel à la Physique, à la Chimie, aux Mathématiques Appliquées et à l'Informatique. Par conséquent, grâce à sa formation généraliste, même s'il n'a suivi qu'un seul des modules offerts par le département de Biologie en année 2, un élève sera apte à profiter d'un stage de Recherche en Biologie ou en Ecologie.

#### Les stages en cotutelle

Pour les élèves s'engageant en quatrième année dans une filière ingénieur en double diplôme, le sujet, le lieu du stage, les modalités du suivi intermédiaire et le jury de soutenance sont, dans certains cas, définis en commun par les responsables du stage de recherche de l'X et par les enseignants de la formation complémentaire diplômante.

Les stages en cotutelle permettent à l'élève de mettre en oeuvre, dans un cadre réel, une démarche scientifique expérimentale ou théorique, tout en découvrant un des secteurs couverts par la formation complémentaire.

Responsable  
**Yves Mechulam**

# CHIMIE

Coordinateurs :

► Thierry Gacoin – T. +33 (0)1 69 33 46 56 – [thierry.gacoin@polytechnique.edu](mailto:thierry.gacoin@polytechnique.edu)

Assistante du département :

► Sandra Schnakenbourg – T. +33 (0)1 69 33 56 76  
[secretaire-depchim@polytechnique.fr](mailto:secretaire-depchim@polytechnique.fr)



## CHI591

### Nouvelles réactions et synthèse de produits naturels

Le laboratoire s'intéresse au développement de nouvelles réactions et à la synthèse de produits naturels possédant diverses activités biologiques. En effet, la nature fournit une immense variété de composés chimiques plus ou moins complexes, dont certains membres ou leurs analogues ont trouvé une application en médecine, en biologie, en agrochimie... (pénicilline, morphine, atropine, taxol, cyclosporine, hormones stéroïdes, acide chrysanthémique...).

Leur synthèse, totale ou partielle, pose un défi constant au chimiste organicien et le pousse à affiner continuellement son arsenal de réactions. Ce domaine très vaste offre de nombreuses possibilités pour les stages de recherche. Les stages proposés peuvent s'effectuer soit dans les laboratoires de l'École Polytechnique, soit dans les autres laboratoires universitaires ou industriels, en France ou à l'étranger.

*Exemples de stages proposés dans le Laboratoire de Synthèse Organique :*

- Étude de nouvelles transformations de cyclopropanes.
- Chimie des complexes organiques du titane.
- Étude de réactions à multi-composants.
- Développement de nouvelles réactions pour la synthèse de composés organo-fluorés.
- Synthèse totale de produits naturels biologiquement actifs.
- Étude de nouvelles cascades ioniques par activation électrophile de systèmes insaturés.
- Étude de nouvelles réactions radicalaires et leur application à la synthèse de substances naturelles polycycliques.
- Nouvelles approches aux composés organo-borés.

Responsable  
**Samir Zard**

## CHI592

### Chimie organométallique et catalyse

Les travaux en « Hétérochimie et Coordination » au sein du Laboratoire de Chimie Moléculaire portent principalement sur l'étude de l'interaction métal-ligand (molécule organique qui se lie au métal) et les applications qui en découlent.

De ce fait, les projets touchent à différents domaines: la chimie organique, la chimie organométallique, la chimie de coordination, la catalyse homogène, les études spectroscopiques et les calculs théoriques.

Responsable  
**Corinne Gosmini**

### Nouveaux ligands pour la catalyse

Audrey Auffrant

T. +33 (0)1 69 33 44 10

Nous nous intéressons au développement de ligands phosphorés originaux pouvant être actifs, *ie* participer à une étape clé d'activation. La plupart de nos ligands comportent la fonction imininosphosphorane (P=N), fortement électrodonneuse. Dernièrement, nous avons mis au point l'équivalent iminophosphorane des ligands salen et montré que combinés au yttrium, ils permettent d'obtenir des initiateurs stéréosélectifs pour la préparation biopolymères. De plus, ils sont capables de stabiliser des métaux dans des degrés d'oxydation originaux ce qui pourraient leur permettre de trouver des applications en chimie bioinorganique. Des projets en cours ont pour objectif la stabilisation des complexes oxo et le développement de catalyseurs à ligand actif.

### Synthèse et catalyse asymétrique avec de nouveaux ligands phosphorés

Duncan Carmichael

T. +33 (0)1 69 33 44 15

La conception et l'utilisation de nouvelles phosphines et ligands phosphamétallo-cènes sont les principaux centres d'intérêts de notre groupe. Nous avons une double approche, à la fois fondamentale et appliquée: fondamentale par l'étude et la préparation de molécules phosphorées paramagnétiques qui pourraient avoir des applications physico-chimiques comme des ligands redox actifs. Appliquée et plus classique par la synthèse de phosphines chirales pour la catalyse asymétrique, par exemple

la classe des phospharuthénocènes énantiopurs; un projet qui est soutenu en partie par Avecia PLC. L'évaluation du potentiel catalytique des nouveaux ligands chiraux sera entreprise avec d'autres laboratoires via des collaborations financées par l'Union Européenne. Ainsi des échanges avec les laboratoires d'Oxford, Heidelberg, Séville, Aarhus ou Bologne pourront être envisagés.

### Couplages croisés au cobalt

Corinne Gosmini

T. +33 (0)1 69 33 44 12

Notre activité de recherche concerne essentiellement le développement de nouvelles réactions de couplage principalement catalysées par des halogénures de cobalt associés ou non à divers ligands phosphorés ou azotés. Nous réalisons également la synthèse de divers organométalliques, en particulier d'organozinciques, dans des conditions simples et douces. A côté des différentes réactions de couplage que nous développons grâce à la catalyse par les halogénures de cobalt, il serait intéressant de développer de nouvelles méthodes permettant de réaliser l'activation directe et in situ de molécules simples et à fort potentiel telle que le dioxyde de carbone.

Nous souhaitons donc utiliser nos systèmes catalytiques au cobalt afin de réaliser la synthèse de dérivés carboxyliques grâce à l'activation directe de CO<sub>2</sub>, ceci dans des conditions douces, peu onéreuses et non dangereuses soit à partir d'organozinciques dont nous maîtrisons pour certains la synthèse soit via un organocobalt catalytique. Pour cela divers ligands synthétisés au laboratoire pourront être utilisés.

## Chimie organométallique des lanthanides

Grégory Nocton

T. +33 (0)1 69 33 44 02

Les lanthanides sont des éléments relativement peu connus et pourtant extrêmement utiles, dont les domaines d'application s'étendent de la luminescence à la catalyse, le magnétisme, la biologie...

Nous étudions la chimie organométallique de ces éléments en particulier dans leur valence +II (lanthanides divalents) et nous cherchons à obtenir des complexes stables des ions Sm, Tm, Dy, Nd et Yb. Ces composés sont tellement réactifs que certains d'entre eux sont capables de réagir avec l'azote moléculaire à température et pression ambiantes. Nous désirerions faire fonctionner ces complexes de l'azote pour obtenir des composés utiles (amines).

Par ailleurs, de nombreuses autres molécules réagissent avec ces complexes tels que les bases hétéro-azotés et phosphorés (pyridine, bipyridine, phosphinine...). Nous étudions de manière fine le transfert électronique qui se produit du métal vers le ligand aussi bien grâce à des méthodes spectroscopiques qu'à l'aide de la chimie théorique.

## Chimie de basse valence des métaux de transition

Grégory Nocton

T. +33 (0)1 69 33 44 02

Nous étudions de nombreux métaux du bloc d (Ti, Zr, Fe, Co, V, Nb) qui possèdent des caractéristiques différentes mais nous recherchons à chaque fois à réaliser des synthèses de complexes de ces métaux dans leurs plus basses valences, c'est-à-dire des complexes riches en électrons. La difficulté pour synthétiser ces molécules se situe dans leur grande réactivité vis-à-vis de l'air et de l'eau, mais aussi d'autres substrats tels que certains solvants ou encore sur le ligand utilisé pour les stabiliser.

Cependant, de leur grande faiblesse provienne leur grande force. En effet, parce qu'ils sont très réactifs, ils ont le potentiel de réagir avec de nombreuses molécules, dont certaines sont à l'accoutumée inertes chimiquement comme le diazote, par exemple. Si cette réactivité est contrôlée, il est alors possible d'envisager des transferts électroniques du métal vers le substrat dans la sphère de coordination du métal. Ce type d'étude est décrit dans la littérature comme l'activation de petites molécules par un centre métallique. C'est ce type d'étude que nous poursuivons vis-à-vis de N<sub>2</sub>, P<sub>4</sub> ou encore le CO<sub>2</sub>. Ces études complètes concernent la synthèse organique pour les ligands, la synthèse inorganique pour la préparation des complexes ainsi que des études spectroscopiques pointues (RPE, Magnétisme, RMN) et des calculs théoriques.

## CHI593

### Méthodes analytiques ; modélisation moléculaire

Responsable  
Gilles  
Ohanessian

Les méthodes physico-chimiques modernes permettent de caractériser des espèces chimiques et biologiques complexes :

- Techniques séparatives couplées à la spectrométrie de masse et à d'autres spectroscopies pour la détection, l'identification et la caractérisation structurale des molécules.
- Chimie théorique pour la modélisation de leurs structures et de leurs propriétés.

Ces travaux trouvent leurs applications en chimie moléculaire, en analyse environnementale et biomédicale, et en biochimie.

*Quelques propositions de stages de recherche sont indiquées ci-dessous à titre d'exemples.*

#### Modélisation de la structure électronique de molécules organiques et organométalliques

Gilles Frison

T. +33 (0)1 69 33 48 34

gilles.frison@polytechnique.edu

#### Polluants émergents : identification de produits de dégradation de composés pharmaceutiques dans l'environnement

Stéphane Bouchonnet

T. +33 (0)1 69 15 48 05

stephane.bouchonnet@polytechnique.edu

#### Modélisation de spectres de dichroïsme circulaire vibrationnel : un nouvel outil de caractérisation structurale des molécules chirales

Carine Clavaguéra

Laboratoire de Chimie Physique, Université de Paris Sud, Orsay

T. +33 (0)1 69 15 44 42

carine.clavaguera@u-psud.fr

#### Caractérisation de changements structuraux de la protéine prion par mobilité ionique couplée à la spectrométrie de masse

Guillaume van der Rest

Laboratoire de Chimie Physique, Université de Paris Sud, Orsay

T. +33 (0)1 69 15 30 41

guillaume.van-der-rest@u-psud.fr

## CHI594

### Matériaux Fonctionnels

Cette option de stage vise à faire découvrir le domaine de la recherche en Sciences des Matériaux, en lien avec des problématiques d'élaboration, de propriétés remarquables, et d'applications innovantes. Abordés sous des aspects fondamentaux ou appliqués, les sujets proposés visent notamment à comprendre et contrôler les propriétés des matériaux en relation avec leur structure à plusieurs échelles (cristallinité, microstructure, mise en forme). La nature des matériaux concernés peut être très variable : polymères de spécialité, verres, cristaux, oxyde à propriétés remarquables, semi-conducteurs, catalyseurs, surfaces fonctionnelles, biomatériaux... Leur forme est également variée : dispersions, poudres, couches minces, surfaces, matériaux massifs...

Les thématiques abordées peuvent concerner la chimie des matériaux (nouvelles stratégies d'élaboration, procédés), leur caractérisation structurale, l'étude de propriétés physiques dans différents domaines (optique, transport, magnétisme...).

Les sujets abordés sont en général à l'interface entre plusieurs disciplines : chimie, électrochimie, chimie des procédés, physique du solide, mécanique, science des surfaces, biologie... Souvent, les recherches sont faites en lien avec des applications potentielles ciblées avec des perspectives de mise au point de matériaux innovants.

#### *Exemples de techniques utilisées*

► Chimie des matériaux : chimie des colloïdes, chimie inorganique, dépôt de couches minces, CVD, PVD, procédés céramiques, électrochimie.

- Caractérisations structurales avancées : Résonance Magnétique Nucléaire, spectroscopies infra-rouge, Raman, diffraction des rayons X, diffusion des rayons X, études sur grands instruments (synchrotrons), microscopie électronique.
- Modélisation des matériaux, des procédés d'élaboration, des propriétés physiques.
- Caractérisation de propriétés physiques ou physico-chimiques : mesures optiques (absorption, luminescence, optique non-linéaire), conduction ionique ou électronique, supraconductivité, piézoélectricité, magnétisme...

#### **Types de stages**

Les stages peuvent se dérouler en France ou à l'étranger, dans un contexte académique ou industriel.

#### *Par exemple :*

- dans le centre de recherche à l'École polytechnique : LPMC, LPICM, LSI, LMS, CPHT, LOB
- dans d'autres institutions académiques : Université Paris-Saclay, Collège de France, Institut Curie...
- dans des sites de R&D industrielle en France : Saint-Gobain, Solvay, Arkema, Michelin, Essilor, Thalès, L'Oréal...
- Dans des universités étrangères : MIT, Harvard, UC Santa-Barbara, NIMS (Tsukuba)...
- Dans des centres de R&D industriels à l'étranger : Solvay (USA), Saint-Gobain (USA, Inde, Chine)...
- Dans des start-ups ou dans le cadre d'opérations de maturations

Responsable

**Thierry Gacoin**

LPMC,

École polytechnique

T. +33 (0)1 69 33 46 56

thierry.gacoin@

polytechnique.edu

# ÉCONOMIE

Coordinateur:

- Patricia Crifo – [patricia.crifo@polytechnique.edu](mailto:patricia.crifo@polytechnique.edu)
- Thibaut Vergé – [thibaud.verge@polytechnique.edu](mailto:thibaud.verge@polytechnique.edu)
- Isabelle Méjean – [isabelle.mejean@polytechnique.edu](mailto:isabelle.mejean@polytechnique.edu)
- Pierre Picard – [pierre.picard@polytechnique.edu](mailto:pierre.picard@polytechnique.edu)

## Assistante du département:

- Weronika Leduc – T. +33 (0)1 70266918 – [weronika-natalia.leduc@polytechnique.edu](mailto:weronika-natalia.leduc@polytechnique.edu)



# ECO591

## Economie d'entreprise et Microéconomie

Responsables

Patricia Crifo

Thibaud Vergé

The objective of this option is to provide students internship opportunities to apply microeconomic theory to practice. The students are expected to:

- deliver application of microeconomic theory into practice in a public or private institution, or
- conduct microeconomic research at an academic institution.

The main focus of this option is on microeconomic analysis, and therefore internship at a regular business consulting firm is not accepted, unless a significant amount of analysis based on microeconomic theory is provided.

*Department of Economics has some relationships with firms, public institutions, or*



*research institutions in which you can engage into an internship at, for example:*

- Evaluate public policies (e.g. antitrust policies) by providing estimations on welfare consequences.
- Study impacts of certain policies in competitive industries (e.g. policies related to climate changes).
- Use microeconomic tools to provide analysis on consumer demand and provide counterfactual estimations on different sales scenarios.
- Study optimization of production distribution system, using tools in operations research.
- Evaluate asset management policies, particularly in the context of socially responsible investment policy.
- Pilot a research and development project within a company and/or with external partners.
- Etc.

## ECO592

### Économie internationale et politique économique

Internships on macroeconomic topics are usually centered on the main questions treated by the macroeconomic theory (e.g. the determinants of exchange rates or the analysis of unemployment) or some specific problems of economic policy such as the optimal economic policy in a monetary union, the evaluation of some specific labor market policies, etc. Internships in this

option usually take place in economic services of French embassies, in international organizations (IMF, World Bank, OECD), in national public agencies (ministry of finance, Pôle Emploi, etc.), in academia, or in the private sector (for instance in the department of economic studies of a bank or a large company).

Responsable  
Isabelle Méjean

## ECO593

### Banque, finance

Les domaines de recherche des options se déroulant dans des banques ou dans des organismes d'études économiques et financières s'apparentent à ceux de la microéconomie. Ils s'intègrent dans les travaux d'analyse et de développement d'outils aux implications souvent concrètes et immédiates.

Ils doivent impérativement être en lien avec les domaines d'enseignement du département d'économie et ne pas se contenter d'utiliser les méthodes des mathématiques appliquées sans un minimum de réflexion économique.

*Les sujets de stage sont potentiellement très variés :*

- Valorisation d'une société dans le cadre d'un projet de fusion-acquisition
- Analyse de risque d'un marché ou d'un groupe de contreparties.
- Analyse stratégique d'un marché ou d'un type de clientèle.
- Lien entre variables macro-économiques et activités bancaires.
- Analyse comportementale d'intervenants sur les marchés.
- Etc.

Responsable  
Pierre Picard

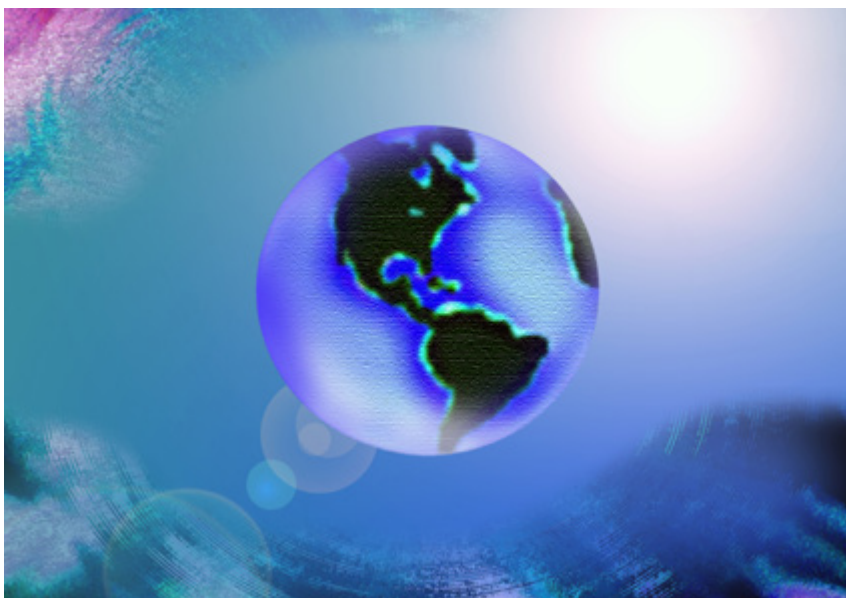
# HUMANITÉS ET SCIENCES SOCIALES

Coordinateur:

➤ Nicolas Wanlin – T. +33 (0)1 69 33 33 60 – [nicolas.wanlin@polytechnique.edu](mailto:nicolas.wanlin@polytechnique.edu)

Assistante du département:

➤ Roselyne Bernard – T. +33 (0)1 69 33 33 53  
[roselyne.bernard@polytechnique.edu](mailto:roselyne.bernard@polytechnique.edu)



## HSS591A

### Systèmes économiques et développement durable

Cette option a pour objectif d'analyser certaines caractéristiques des systèmes économiques actuels. Il s'agit à la fois de les décrire et d'en proposer une explication en recourant à des raisonnements de nature économique et historique. Des sujets bien précis seront choisis afin de permettre une réflexion approfondie et de première main. Ils pourront concerner le monde occidental actuel

mais aussi des économies émergentes. L'intérêt de cette recherche est de montrer comment les phénomènes économiques contemporains ne sont compréhensibles que s'ils sont resitués dans la durée historique et dans un contexte large, les facteurs non économiques étant toujours indispensables au fonctionnement des systèmes économiques.

Responsable

**Jean-Yves**

**Grenier**

T. +33 (0)1 43 13 63 72

grenier@java-ens.fr

## HSS591B

### Villes du XXI<sup>e</sup> siècle et développement durable

Les stages proposés en relation avec les enseignements « Urbanisme et développement durable », permettent aux étudiants de rencontrer les nouvelles dynamiques de recherches que les exigences du développement durable portent dans le domaine de l'aménagement urbain.

Les lieux d'accueil sont de plusieurs natures, en relation avec la diversité des compétences que mobilisent ces métiers de la ville: dans des bureaux d'études et agences de conception urbaines et territoriales, dans des laboratoires de recherches universitaires, au sein de maîtrises d'ouvrages urbaines, dans le pilotage politique d'opération d'urbanisme, dans certains départements « innovations urbaines » de grandes entreprises.

A la croisée entre savoirs techniques, sensibilité à l'évolution des modes de vie, compétences de conception et d'ingénierie et maîtrise des enjeux de gouvernance politique, ces nouveaux savoirs de la fabrique urbaine ville, par nature pluridisciplinaires, présentent de nombreuses opportunités, au cœur des défis sociétaux de XXI<sup>e</sup> siècle.

L'effectif est limité à 2 étudiants.

Responsable

**Xavier Bonnaud**

T. +33 (0)1 69 33 33 66

xavier.bonnaud@polytechnique.edu

## HSS591C

### Cultures nationales et transferts de technologies

#### Responsables

Yvan

**Bonnassieux**

T. +33 (0)1 69 33 43 02  
yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

**Eric Godelier**

T. +33 (0)1 69 33 33 55  
eric.godelier@polytechnique.edu

**Nathalie Lugagne**

HEC

#### Stage de recherche X-HEC-PSA

Les élèves ont la possibilité de faire leur stage de recherche en Chine dans le cadre des activités d'un programme d'enseignement et de recherche soutenu par le groupe PSA.

Ce stage est ouvert à tous les élèves de troisième année, avec une préférence pour ceux ayant suivi le séminaire HSS3 commun avec HEC qui se déroule entre septembre et décembre. Cet enseignement porte sur les concepts à maîtriser pour la compréhension et l'observation de la notion d'innovation socio-technique et de culture dans l'entreprise, ainsi que sur la présentation et l'étude des principaux problèmes de management multiculturel. Il est effectué en coordination avec le Master IETE. Dans certains cas, des élèves du master PIC ou d'autres programmes de Master peuvent candidater.

Les élèves les plus motivés seront sélectionnés mi-novembre pour partir en stage à l'étranger. Lors d'un week-end de présentation à HEC, ils seront regroupés par binôme avec un élève d'HEC. Un maximum de 3 binômes sont autorisés à partir soit en Chine. Ils devront suivre une seconde phase (janvier-avril) d'enseignements destinée à un travail d'approfondissement scientifique et méthodologique sur des enquêtes de terrain fournies par les partenaires industriels de la chaire. Cette série de cours peut être éventuellement crédit comme enseignement d'approfondissement (EA). Enfin, la période de stage d'option scientifique se concrétisera

par une étude internationale en entreprise avec un étudiant étranger qui rejoindra le binôme français. Elle dure 4 mois, dont 1 mois en France (avril à mai) et 3 mois en Chine (mai-juillet). Tous les frais de déplacements et de séjours en France et à l'étranger sont pris en charge grâce au soutien du groupe PSA.

Le stage de recherche sera mené en relation avec une institution universitaire partenaire dont sont issus les élèves étrangers : l'université de Fudan (Chine), notamment à travers sa business school. En Chine, les stagiaires travailleront au sein de l'unité d'innovation du groupe PSA à Shanghai. Les sujets sont proposés par des managers de la direction générale en France ou à l'étranger. Les sujets de recherche proposés présenteront des dimensions d'innovation technologique, de transferts de technologies ou de modèle de marketing et des questions managériales. Les problèmes posés supposeront la mise en œuvre de connaissances de l'ingénieur.

Merci de prendre contact rapidement avec Eric Godelier ou Yvan Bonnassieux.

#### Stage de recherche X-HEC-Suez Environnement

Les élèves ont la possibilité de faire leur stage de recherche en Inde dans le cadre des activités d'un programme d'enseignement et de recherche soutenu par le groupe Suez environnement.

Ce stage est ouvert à tous les élèves de troisième année, avec une préférence pour ceux ayant suivi le séminaire HSS3 commun avec HEC qui se déroule entre septembre et décembre. Cet enseignement porte sur les concepts à maîtriser pour la compréhension et l'observation de la notion de management multiculturel, d'approche anthropologique de l'innovation et de culture dans l'entreprise, ainsi que sur la présentation et l'étude des principaux problèmes de management multiculturel. Il est effectué en coordination avec le Master IETE. Dans certains cas, des élèves du master PIC ou d'autres programmes de Master peuvent candidater.

Les élèves les plus motivés seront sélectionnés mi-novembre pour partir en stage à l'étranger. Lors d'un week-end de présentation à HEC, ils seront regroupés par binôme avec un élève d'HEC. Un maximum de 3 binômes sont autorisés à partir en Inde. Ils devront suivre une seconde phase (janvier-avril) d'enseignements destinée à un travail d'approfondissement scientifique et méthodologique sur des enquêtes de terrain fournies par les partenaires industriels de la chaire. Cette série de cours peut être éventuellement crédit comme enseignement d'approfondissement (EA). Enfin, la période de stage d'option scientifique se concrétisera par une étude internationale en entreprise avec un étudiant étranger qui rejoindra le binôme français. Elle dure 4 mois, dont 1 mois en France (avril à mai) et 3 mois en Inde (mai-juillet). Tous les frais de déplacements et de séjours en France et à l'étranger sont pris en charge grâce au soutien du groupe Suez Environnement.

Le stage de recherche sera mené relation avec une institution universitaire partenaire dont sont issus les élèves étrangers: l'Indian Institute of Management d'Ahmedabad (Inde), considérée comme l'une des meilleures business school en Asie. En Inde, les stagiaires seront accueillis par une filiale du Groupe Suez. Les sujets sont proposés par des managers de la direction générale en France ou à l'étranger. Les sujets de recherche présenteront des dimensions de transferts de technologie ou d'outils de gestion, d'innovation technologique et des questions managériales. Le cas échéant, certains aspects peuvent porter sur le développement durable. Les problèmes posés supposeront la mise en œuvre de connaissances de l'ingénieur.

Merci de prendre contact rapidement avec Eric Godelier ou Yvan Bonnassieux

### **Modalités d'évaluation**

Mémoire écrit et soutenance orale. L'élève devra construire et mettre en œuvre une méthodologie rigoureuse d'observation et d'analyse de l'objet étudié. Un travail de recherche bibliographique sera demandé. La clarté de la démonstration écrite et de la présentation orale est également évaluée.

## HSS591D

### Service public

Responsable  
**Vincent Martigny**  
T. +33 (0)1 69 33 33 58  
vincent.martigny@  
sciencespo.fr

Cette option est ouverte à tous les élèves inscrits dans le cycle polytechnicien. Elle est fortement recommandée aux élèves se destinant aux corps ou à la préparation de concours administratifs (ENA, Quai d'Orsay...), mais également à tous les élèves souhaitant avoir une expérience de stage dans la haute-fonction publique au service de l'intérêt général.

Elle propose un travail de recherche portant sur des problèmes d'actualité de nature scientifique et technique, administrative et politique, institutionnelle, sociale, ou financière qui se posent dans l'exercice de missions de service public. Ce travail s'effectue dans le cadre d'un stage effectué dans un secteur de l'État.

Le choix de cette option permet une acculturation au fonctionnement du service

public, à son état d'esprit, à sa modernité, et laisse entrevoir la diversité des carrières offertes par ce secteur.

L'institution dans laquelle s'effectue le stage peut être proposée par un élève, ou choisi parmi un catalogue de stages du département HSS, dans l'administration (cabinet du préfet des Terres Australes et Antarctiques Françaises, Ministère des Affaires Étrangères, Ministère de la transition écologique...), dans les agences de l'État (Agence de régulation de l'énergie, ARCEP, Agence de l'Eau Seine-Normandie...), dans une institution publique (Inspection des finances...), voire dans le secteur du conseil au service public (Cabinet de conseil Jacques Attali).

## HSS592A

### Cognition et Neuroscience

Responsable  
**Jérôme Sackur**  
jerome.sackur@  
gmail.com

#### **Perception visuelle anorthoscopique d'objets**

Lorsqu'un objet (ou une scène visuelle) est vu au travers d'une fente (« slit viewing »), comme cela peut être le cas dans la vie réelle lorsque l'on perçoit une scène au travers d'un store ou d'une barrière par exemple, le système visuel est capable d'identifier et reconnaître cet objet, bien que la même région de la rétine soit stimulée d'instant en instant.

Quels sont les mécanismes qui permettent la reconstruction de cet objet et de le reconnaître? Quelle est la part de la dynamique du mouvement et des informations de formes dans ce processus?

#### **Transfert inter hémisphérique de traitements visuels**

La perception du champ visuel droit et gauche est assurée par les hémisphères gauche et droit, respectivement. Lorsqu'une stimulation

visuelle franchit le méridien vertical, quelles sont informations, prédictions et traitements transférés d'un hémisphère à l'autre (vraisemblablement par l'intermédiaire du corps calleux qui réunit les deux hémisphères)? Des observations informelles suggèrent que les traitements corticaux réalisés dans un hémisphère ne sont pas transférés à l'autre, et que les traitements visuels – en particulier ceux nécessaires à la perception du mouvement – doivent être recalculés. Le projet vise à quantifier cette observation et à identifier les constantes de temps mise en jeu.

### **Oculomotricité et « Eye-Gaming »**

L'étude de l'oculomotricité et de son répertoire (fixation, saccade, poursuite, vergence, activité pupillaire) est généralement réalisée en laboratoire avec des paradigmes stricts, mais peu attirants (faire 100 saccade vers une cible, par exemple).

Le projet vise à collecter des données oculomotrices dans le cadre de « jeux sérieux » impliquant les mouvements oculaires (« Eye-Gaming ») et de déterminer si les mouvements oculaires mis en œuvre dans ces situations sont susceptibles d'apporter des informations pertinentes pour l'étude du système oculomoteur (et de « remplacer » ou compléter les paradigmes expérimentaux de laboratoire). A plus long terme, le projet vise à développer des bornes interactives utilisant les mouvements oculaires pour le pilotage d'interfaces, de collecter et d'étudier ces mouvements oculaires sur une grande population (Cohorte).

### **Sonification des mouvements oculaires**

Bien que les yeux bougent sans arrêt (3 saccades par seconde), ces mouvements sont

largement non-conscient, et souvent perturbés dans nombres de pathologies.

Le projet vise à déterminer dans quelle mesure la sonification des mouvements oculaires (couplages mouvement oculaires/sons) est utile pour faciliter et améliorer le contrôle oculomoteur. A long terme ce projet vise à développer des applications cliniques pour le diagnostic et la remédiation de troubles oculomoteurs.

### **La réponse pupillaire comme mesure de l'attention visuelle**

La taille de la pupille varie en fonction de l'illumination de la scène, mais reflète aussi des fonctions cognitives telles que l'orientation de l'attention. En effet, lorsqu'on prête attention à un objet lumineux placé en périphérie, la pupille se rétracte par rapport à la situation où l'objet auquel on prête attention est sombre. L'oscillation de la luminance (sombre-clair) à une certaine fréquence induit des oscillations de la pupille (jusqu'à 3Hz environ).

Il est possible de présenter différents objets dont la luminance oscille à différentes fréquences, et de déterminer celui auquel le sujet prête attention et regardant l'amplitude des fréquences dans une décomposition de Fourier du signal pupillaire – une technique appelée « frequency tagging ». L'objectif de ce stage est de déterminer les contraintes spatiales de ce frequency tagging de manière à exploiter la réponse pupillaire comme mesure attentionnelle.

Ce stage comprend toutes ou une partie des étapes suivantes: la mise en place du protocole expérimental, programmation de l'ex-

périence (matlab), formation à l'utilisation d'un oculomètre et aux méthodes psychophysiques pertinentes pour récolter les données, analyse des données.

### **Développement d'un jeu pour évaluer les rythmes attentionnels des enfants**

La capacité à rester concentré sur une même tâche varie considérablement dans la population générale, sans parler des pathologies de l'attention comme le Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité (TDAH). Une manière traditionnelle d'étudier cela en sciences cognitives consiste à questionner à intervalles irréguliers des participants pendant qu'ils et elles effectuent une tâche (la lecture d'un texte rébarbatif par exemple) afin de déterminer si et quand leur pensée vagabonde. Le projet serait la première étape d'un autre approche, consistant à déterminer pour chaque sujet un « biais d'alternance » entre deux tâches.

Pour ce faire, il faudrait concevoir une tâche bi-partite qui pourrait prendre ensuite la forme d'un jeu vidéo, dans laquelle les participants devraient répartir leur attention sur deux sous-tâches (deux parties de l'écran). Il faudrait concevoir une contrainte telle que, en fonction des performances de chacun-e, nous puissions déterminer le taux d'alternance optimal, qui ne serait pas accessible au sujet. Nous pourrions alors mesurer le biais de chaque sujet par rapport à ce taux optimal.

*Les étapes du stage sont:*

1. définir les contraintes du jeu;

2. effectuer des simulations pour tester leur robustesse;

3. concevoir et analyser une expérience de laboratoire pour valider la mesure du biais;

4. réaliser la version « jeu vidéo ».

**Pré-requis:** programmation.

Les projets suivants sont en lien avec l'équipe d'Emmanuel Dupoux « The Synthetic Language Learner ». Ils demandent de bonnes connaissances en algèbre linéaire ou statistique ainsi qu'en programmation.

### **Deep language learning from scratch**

Deep Neural Networks (DNNs) have recently broken ground on state-of-the-art in several areas (image recognition, speech recognition, etc.). However, these algorithms depend on large human annotated datasets. Yet, infants spontaneously achieve similar performance without direct supervision; the internship explores various ideas to “de-supervise” deep learning using side information, loss functions or architectures inspired by research in human infants.

### **Learning the laws of physics with a deep recurrent network**

Recurrent networks can be used to learn regularities in video or audio sequences. This internship will use a game engine to learn the underlying physical regularities of interactions between macroscopic objects and compare it to results of infant's perception of possible versus impossible events. It will be conducted in collaboration with Facebook AI Research.



### Time invariance in speech perception

Speech perception is invariant with respect to large variations in speech rate. How is this achieved? The internship will explore time normalization using various computational architectures for speech recognition (convolutional coding, networks of oscillators, etc.) and compare the results to human data.

### The role of prosody in language bootstrapping

Speech prosody is the “melody” and “rhythm” of language, and infants are very sensitive to it. We think that it provides bootstrapping into linguistic structures at many levels (lexical, grammatical). The internship will explore this using a variety of speech technology techniques (signal processing, spoken term discovery, word segmentation, etc.).

### Rules and meaning

The human language faculty is unique in its ability to combine a finite number of categories to express infinitely varied meanings. The internship addresses how the basic constituents of language (categories and rules) could be learned during infancy focusing on two ideas: extracting proto categories and rules from the sensory inputs using clustering or sparse coding techniques, and using mutual constraints linking the different levels of linguistic structures.

### Multimodal language learning

At four months of age, infants recognize a few very common words (their names, mommy, daddy, etc.), even though they are

unable to produce them. This internship tests whether multimodal DNNs can simultaneously learn words and their approximate meaning on a parallel dataset of audio and video tracks. This internship will be conducted in collaboration with Microsoft Research at Redmond, USA.

### Massive baby home data collection

Big baby data is essential to uncover the mysteries of early language acquisition. Here, we develop dense data recording in baby’s homes using arrays of audio/3D video sensors, as well as toy-based evaluation of preverbal infant language acquisition, and we analyze the data in relation to computational models with unsupervised algorithms.

### Cracking the neural code for speech

How does the brain encode speech sounds? Progress in neuroimaging (ECoG, intracerebral electrical recording, etc.) have resulted in a flow of data, both in human and animals. The internship will apply neural decoding methods and apply to neural data and data generated from deep neural architectures to explore hypotheses about the neural code for speech.

## HSS592B

### Philosophie et société

Responsable

**Michaël Foessel**

T. +33 (0)1 69 33 33 27

Foesselm@

wanadoo.fr

Les stages de troisième année en philosophie sont proposés par le département Humanités Sciences Sociales et se déroulent au sein de son laboratoire, le LinX dirigé par Frédéric Brechenmacher. Ils seront, en règle générale, encadrés par Michaël Foessel.

Un stage de cette nature et dans cette discipline consiste dans la rédaction d'un mémoire d'une quarantaine de pages sur un sujet donné et sur la participation et le suivi de certaines activités du laboratoire (séminaire, journées d'études, colloques, etc.). Des partenariats avec d'autres laboratoires en France où à l'étranger sont évidemment envisageables.

D'une manière générale, il s'agit d'initier l'étudiant à un travail de recherches dans le domaine de la philosophie.

À titre d'exemple, un étudiant de 3A a effectué un stage au sein du LinX en 2015 sur le sujet suivant : « Le statut des mathématiques dans le *Contrat social* de Rousseau ». Cela lui a donné l'occasion d'approfondir la pen-

sée d'un auteur classique tout en mettant à profit ses connaissances en matière scientifique. En plus de son mémoire, il a participé à plusieurs activités du LinX et à des journées d'études consacrées à la pensée de Rousseau organisées à Paris. Pour compléter cette initiation au travail de recherches en sciences humaines, il s'est rendu aussi pendant une semaine au Centre Marc Bloch de Berlin pour participer à certaines de ses activités (séminaires, journée d'étude).

Concernant les thématiques, elles sont relativement ouvertes : philosophie générale, philosophie morale et politique, articulation entre les sciences et la philosophie. Dans tous les cas, le choix d'un sujet de mémoire sera discuté avec le responsable du stage, tout comme la constitution d'une bibliographie et le lieu institutionnel le mieux à même d'accueillir l'étudiant. On insistera aussi sur l'apprentissage du travail en laboratoire (qu'il s'agisse du LinX ou d'un autre) destiné à montrer comment l'activité de recherches s'organise dans une discipline comme la philosophie.

## HSS592C

### Histoire des sciences et des techniques

Cette proposition de stages offre le choix entre deux types d'activités distinctes: 1) recherches en histoire des sciences; 2) travaux d'ingénierie sur les outils informatiques utilisés en sciences sociales.

1) En tant que champ de recherche, l'histoire des sciences présente un caractère fortement interdisciplinaire, intégrant notamment de nombreuses approches d'histoire générale, de philosophie, de sociologie ou encore des études littéraires. Ce champ permet ainsi non seulement de penser les sciences et les techniques mais aussi d'acquiescer des outils d'analyse des défis sociétaux que pose le monde contemporain et ses évolutions futures.

Cette offre de stage donne l'occasion à chaque élève de mener des travaux correspondant à ses propres intérêts (domaine scientifique particulier, période historique, enjeux etc.). Ces travaux s'appuieront sur les fonds d'archives de l'École. La richesse de ces fonds d'archives offre une grande variété de thématiques de recherches, tant du point de vue des champs scientifiques et technologiques que d'objets technologiques ou d'autres domaines comme les arts, la philosophie, les entreprises etc.

Afin de valoriser ces productions, le sujet du stage sera élaboré avec chaque élève non seulement en fonction de ses intérêts mais aussi en relation avec des thèmes porteurs de la recherche contemporaine en histoire des sciences (projets jeunes chercheurs, thèses

en cours, réseaux internationaux, équipes de recherches régionales etc.)

Le stage aura lieu en partie au Centre historique de l'École pour les travaux d'archives. Selon le sujet choisi, il pourra également s'implanter dans un réseau de recherche thématique international ou dans un laboratoire d'histoire des sciences (Équipe « histoire des sciences mathématiques » de l'Institut de mathématiques de Jussieu, Centre Koyré de l'EHESS, GHDSO de l'Université Paris-Sud 11, UMR SPHERE de l'Université Paris-7, UMR STL de l'Université Lille 1, Archives Henri Poincaré à Nancy, etc.)

*A titre d'exemples de sujets possibles, citons, entre autres:*

- Histoire des mathématiques, en relation avec le projet international jeunes chercheurs CaaFÉ (<http://caafe.math.cnrs.fr>)
- Science et littérature aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, en relation avec le projet international jeunes chercheurs « Histoire croisée »
- Constitution d'archives audiovisuelles des acteurs contemporains de l'École (enseignants, chercheurs, élèves, etc.)
- Biographie scientifique
- Le journal de l'École polytechnique, en relation avec le projet international sur l'histoire de la presse scientifique
- Les correspondances scientifiques: étude et numérisation d'un fond d'archive
- Les contributions des polytechniciens à la géométrie, la cristallographie et la cinématique au XIX<sup>e</sup> siècle, en relation avec trois thèses en cours (Brésil, Canada, France)

Responsable

**Frédéric**

**Brechenmacher**

T. +33 (0)1 69 33 33 54

[frederic.brechenmacher@](mailto:frederic.brechenmacher@polytechnique.edu)

[polytechnique.edu](mailto:polytechnique.edu)

- Machines et instruments dans les archives de l'École.

Selon le thème choisi, le stage pourra donner lieu à différents types de productions :

- publication (journaux et/ou sites internet)
- exposition
- constitution/valorisation d'archives (en participant notamment au Musée virtuel de l'École)
- film documentaire
- etc.

2) Les élèves qui le souhaitent pourront choisir de mener un projet d'ingénierie sur des outils informatiques utilisés par les chercheurs en histoire des sciences, en lien avec

des recherches en cours. Parmi les activités possibles mentionnons :

- interface et contenu du Musée virtuel de l'École
- participation au développement de logiciels pour un projet de numérisation (comme les œuvres complètes de d'Alembert)
- utilisation de graphes pour la visualisation de réseaux de citations intertextuelles
- problèmes posés par les différents formats bibliographiques
- amélioration des interfaces de programmation des utilisateurs
- développement d'une variante du langage de mysql afin de permettre des requêtes sur les liens entre données et non seulement sur ces données.

## HSS592D

### Géopolitique et relations internationales

Responsables

**Thomas**

**Lindemann**

T. +33 (0)1 69 33 33 63

[lindemannt@](mailto:lindemannt@yahoo.com)

[yahoo.com](mailto:lindemannt@yahoo.com)

**Anne Dulphy**

T. +33 (0)1 69 33 33 57

[anne.dulphy@](mailto:anne.dulphy@polytechnique.edu)

[polytechnique.edu](mailto:anne.dulphy@polytechnique.edu)

Les stages de géopolitique s'adressent aux étudiants soucieux d'acquérir un haut niveau d'expertise en matière de conflits et de politiques de sécurité et de prévention de la violence. Les stages permettent de mieux appréhender la pluralité des situations conflictuelles (par exemple guerres ou pratiques « terroristes »). Ils préparent à une insertion directe dans le monde professionnel à travers une préparation aux métiers de la sécurité et de la prévention (diplomatie publique et privée, département sécurité-prévention au sein de think tank

spécialisés dans les relations internationales, métiers d'ingénierie de la sécurité auprès d'acteurs publics ou privés, armée, police, gendarmerie) mais également à des fonctions d'analyse (analyse risque-pays, chargés d'études, etc.) dans des organisations privées et publiques. Plusieurs thématiques peuvent être proposées pour des stages dans le domaine de la géopolitique : les origines et les causes des violences internationales, la prévention et la gestion des crises et des conflits, les stratégies militaires, la sécurité globale.

La question des origines et des causes des violences internationales est à l'origine même de la discipline des Relations internationales, avec la création d'une première chaire à l'Université d'Aberystwyth en 1919, et elle continue de faire objet de nombreuses recherches aussi bien quantitatives (banque de données sur la fréquence, la durée et l'intensité des conflits armés ainsi que leur « corrélation » avec des variables politiques ou économiques) que qualitatives. Plus récemment, les problématiques se sont élargies à l'étude des conflits non-étatiques transnationaux avec une attention accrue aux conflits asymétriques.

Il existe de nombreux organismes en Europe qui recrutent des stagiaires pour participer à des recherches sur les violences internationales : le PRIO (*Peace Research Institut of Oslo*), le SIPRI (*Stockholm International Peace Research Institut*), le HSFK (*Hessische Stiftung für Friedens-und Konfliktforschung*) à Francfort ou le HIIL (*Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung*).

Pour la prévention et la gestion des crises et des conflits, il s'agit d'anticiper idéalement

des situations de crise, voire de violence interne ou internationale. Nous disposons de contacts pour des stages au sein du ministère de l'Intérieur dans le département « planification de sécurité nationale et gestion des crises ». En outre l'IRSEM (l'Institut de Recherche Stratégique à l'École de Guerre) est disposé à accueillir des stagiaires, notamment sur les thématiques de gestion des crises internationales ou de rivalité entre grandes puissances (Chine, Russie, États-Unis).

Pour l'analyse des stratégies militaires et de leur élaboration, des politiques d'armement et de la gestion des conflits armés, des stages peuvent être envisagés au CESA (*Centre d'études stratégiques aérospatiales*), à la DAS (*Délégation générales des relations internationales*), mais aussi à l'IRSEM, voire dans un think tank à l'étranger (comme *RAND Corporation*).

Enfin, des stages peuvent être organisés sur les questions de sécurité globale, où il s'agirait par exemple d'évaluer la « fiabilité » des partenaires économiques dans des pays « à risques ».

## HSS592E

### Ethnologie

Responsable  
**Claire-Cécile  
Mitatre**  
claire.mitatre@  
univ-montp3.fr

#### Ethnologie

Le stage en ethnologie consiste dans la réalisation d'un mémoire d'une trentaine de pages, fondé sur une enquête de terrain et un travail bibliographique. Il est attendu de ce travail d'initiation à la recherche qu'il soit avant tout descriptif, l'analyse devant servir à la compréhension de cas particuliers.

L'étudiant aura en premier lieu à définir un terrain d'enquête, de préférence fondé sur un événement (rassemblement, rituel, cérémonie etc.) ou un lieu (musée, entreprise, laboratoire, marché etc.). L'enquête s'inspirera du modèle ethnographique, articulant plusieurs méthodes d'investigation, notamment celle de l'observation participante.

Dans ce cadre, l'étudiant veillera à accorder une place importante à la description des pratiques et de leurs contextes. Il sera aussi amené à recueillir les paroles des sujets

d'enquêtes (en entretiens thématiques ou en situation). En plus de ses carnets de terrain, il lui sera possible de recourir à un magnétophone et à l'outil photographique ou audiovisuel.

Selon le sujet choisi, l'étudiant pourra suivre un séminaire du catalogue de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales ou d'une autre institution, en vue de préparer son terrain en amont ou, par la suite, de mettre en perspective ses matériaux.

Les choix bibliographiques, ceux du séminaire à suivre, de même que les orientations à donner à l'enquête et au rendu écrit seront discutés avec le responsable aux différentes étapes de réalisation du mémoire. Le suivi d'un enseignement d'ethnologie ou d'anthropologie est un pré-requis pour ce stage.

## HSS593A

### Urbanisme, architecture, art de bâtir

L'urgence écologique, le développement urbain des pays émergents, l'étalement des villes font du territoire une réalité en pleine redéfinition, ouvrant ainsi de nombreuses pistes de recherche, notamment dans la construction des bâtiments, la planification urbaine, l'organisation des transports.

Les travaux de recherche que les élèves pourraient entreprendre peuvent traiter du développement durable du point de vue des matériaux comme de celui de formes bâties, de l'optimisation de la gestion des flux et des transports.

L'analyse du territoire constitue également un moment clé dans la conduite des grands projets, qu'il s'agisse du Grand Paris ou des villes émergentes du Golfe ou d'Extrême-Orient.

Les stages d'option peuvent avoir lieu dans des laboratoires (ex: LAVUE en France, Ecole Polytechnique de l'Université Sao Paulo, CSIRO en Australie), des administrations, des bureaux d'étude (RATP, SNCF) ou des agences d'architecture.

Parmi les laboratoires, établissements européens auprès desquels vous pourriez vous adresser, en voici quelques-uns qui, loin de constituer une liste exhaustive, vous donnent cependant quelques pistes. Je suis à la disposition des élèves intéressés pour communiquer, en entretien, des noms de chercheurs au sein de tel ou tel établissements, (n'hésitez pas à me contacter

par email pour m'entretenir de vos pistes ou de l'une de celles mentionnées ci-dessous).

Responsable

**Karim Basbous**

karim.basbous@polytechnique.edu

#### I. Les labos ancrés dans le milieu des grandes Écoles/universités

1. Le LATTTS (Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés), sous la tutelle de l'Université Paris-Est Marne la Vallée, de l'École des Ponts, et du CNRS (UMR 8134).

Site internet: [latts.cnrs.fr](http://latts.cnrs.fr)

Ce labo regroupe 32 chercheurs sous la direction d'Olivier Coutard, axé sur les thématiques de technologies, d'innovation, et sur les infrastructures, réseaux, institutions et territoires.

J'attire votre attention sur le fait que le PRES (Pôle de recherche et d'enseignement supérieur) de Paris-Est a lancé récemment le projet « projet Futurs Urbains », sorte de fédération regroupant plusieurs labos afin d'étudier les questions urbaines en intégrant les dimensions environnementale, social et économique.

2. Le LVMT (Laboratoire Ville Mobilité Transport) où une soixantaine de chercheurs travaillent sur des problématiques alliant les questions des mobilités, des infrastructures, des politiques urbaines dans la métropole contemporaine. [www.lvmt.fr](http://www.lvmt.fr)

3. Je vous invite aussi à vous pencher sur les milieux de recherche en géographie. Le point de vue des géographes sur le territoire redouble d'importance à notre

époque où l'analyse des mobilités et des échelles reconsidère les notions du local et du global à travers des outils parallèles à ceux des aménageurs, urbanistes, architectes. Je pense notamment à l'UMR Géographie-Cités.

[www.parisgeo.cnrs.fr](http://www.parisgeo.cnrs.fr)

4. La LSE: London School of Economics, département « Regional and Urban Planning Studies »

[www2.lse.ac.uk](http://www2.lse.ac.uk)

Les Anciens élèves en France ont créé [www.lsefrance.org](http://www.lsefrance.org)

5. Le CIESIN - Columbia University. Xiaoshi Xing

[xxiaoshi@ciesin.columbia.edu](mailto:xxiaoshi@ciesin.columbia.edu)

Des élèves de l'x y ont déjà fait des stages d'option.

6. University of Western Sydney. Il s'agit d'une université assez jeune, en plein développement. Une élève de l'x y a déjà fait un stage sur l'écologique.

## II. Les labos rattachés à une École nationale supérieure d'architecture

Note: Je tiens à préciser que dans ces labos les chercheurs sont souvent très autonomes, les moyens matériels de ces labos étant souvent réduits. Une éventuelle inscription dans un de ces labos pourrait se faire en parallèle avec un travail « de terrain » dans un atelier d'urbanisme ou d'architecture, ou bien dans une entreprise. Ainsi, l'expérience en atelier pourrait faire l'objet d'un travail réflexif en labo, nourri par des références théoriques,

travail qui aurait pour objet l'élaboration du rapport de stage.

1. Le LEAV (Laboratoire de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles), regroupant plusieurs équipes de chercheurs, dont l'équipe intitulée RE-MAP (Recherche, métropoles, architectures, politiques).

[www.versailles.archi.fr](http://www.versailles.archi.fr)

Lien du RE-MAP:

[www.versailles.archi.fr](http://www.versailles.archi.fr)

2. L'IPRAUS (institut Parisien de Recherche Architecture Urbanistique Société), qui est le laboratoire de recherche de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville (relève de l'UMR 3329 Ausser).

[www.paris-belleville.archi.fr](http://www.paris-belleville.archi.fr)

Ce labo dirigé par Jean-Philippe Garric travaille sur divers thèmes, dont celui des transports et de Paris métropole (je mentionne ici principalement ceux qui sont susceptibles de recouper les centres d'intérêt des élèves de Polytechnique).

3. Le LIAT (Laboratoire Infrastructure, Architecture, Territoire), au sein de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Malaquais. Ce labo relève aussi de l'UMR 3329 Ausser, créée en 2010, regroupant des équipes de recherche des Écoles Nationales Supérieures d'Architecture de Paris-Belleville et de Paris-Malaquais.

[www.paris-malaquais.archi.fr](http://www.paris-malaquais.archi.fr)

Sous la direction de Dominique Rouillard, ce labo travaille notamment sur



les infrastructures, les réseaux et l'urbanisme. L'ouverture de ce labo aux disciplines connexes y a fait entrer, auprès des architectes et historiens, des géographes et des ingénieurs.

4. Le LAVUE (Le laboratoire Architecture Ville Urbanisme Environnement, au sein de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-va-de-Seine.

[www.paris-valdeseine.archi.fr](http://www.paris-valdeseine.archi.fr)

Ce labo dirigé par Jean-Pierre Lévy regroupe cinq équipes de recherche. Parmi les thèmes privilégiés de ce labo figurent les politiques urbaines, le développement durable et l'environnement.

5. Je vous invite aussi à vous documenter auprès du RAMAU (Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme). [www.paris-lavillette.archi.fr](http://www.paris-lavillette.archi.fr)

### III. Les ateliers d'urbanisme ou d'architecture

Voici quelques noms d'architectes urbanistes qui dirigent un atelier régulièrement mandaté pour des études urbaines:

► Richez Associés: [www.richezassociés.com](http://www.richezassociés.com) (un élève de l'x y a déjà fait un stage)  
Jean-Pierre Buffi [www.buffi-associés.com](http://www.buffi-associés.com)  
en particulier la branche Intens-Cité (site en cours de construction): [www.a-i-a.fr](http://www.a-i-a.fr)

► Bruno Fortier, qui a travaillé sur la restructuration des nouveaux quartiers du 13<sup>e</sup> arrt. de Paris. Adresse: 160, Rue du Temple 75003 Paris.  
T. +33 (0)1 48 87 87 31.

► Christian Devillers, enseignant, praticien très engagé dans l'aménagement des espaces urbains. [www.agencedevillers.com](http://www.agencedevillers.com)

► Jacques Ferrier (travaille notamment sur les « tours environnementales » en partenariat avec des industriels): [www.jacques-ferrier.com](http://www.jacques-ferrier.com)

► A Milan: Bernardo Secchi, architecte et urbaniste, consultant international sur les questions de territoire et d'écologie. [www.secchi-vigano.it](http://www.secchi-vigano.it)

Il y en a beaucoup, donc n'hésitez pas à identifier par vous-mêmes un atelier dont les travaux vous intéressent.

### IV. Entreprises, établissements publics ou mixtes, centres d'étude

#### 1. RATP:

Dans le secteur étudiant les stations, Lorenzo Sancho de Coulhac a déjà accueilli des stagiaires sur des questions liées à la rénovation des stations, à la programmation de cette rénovation, etc. Son service s'occupe des stations du métro et du RER (patrimoine).

Dans le service consacré à la recherche (par ex. les études sur la capacité des réseaux).

Adresse: RATP - DAT/EM Département Développement et Action Territoriale  
Unité Études et Modélisation LAC A  
34 – 54, quai de la Rapée

75599 Paris cedex 12

T. +33 (0)1 58 78 30 06

F. +33 (0)1 58 78 23 10

#### 2. CSTB:

Le centre scientifique et technique du bâtiment. Serge Salat y est responsable du laboratoire de morphologie urbaine.

Site internet du labo :  
urbanmorphologylab.com

3. Le groupe SYSTRA : un Bureau d'études né de la fusion de filiales de la SNCF et de la RATP, spécialisé dans les transports. J'ai entendu parler de deux personnes clé au sein de ce groupe, ayant déjà accueilli des stagiaires.

4. La SEMAPA (aménageur de la ZAC Paris Rive Gauche).

5. Le CERTU (centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme) à Lyon, qui travaille sur le développement durable. [www.certu.fr](http://www.certu.fr)

6. A titre d'exemple aussi : des lieux tels que l'Etablissement Public d'aménagement de la Ville Nouvelle de Sénart T. +33 (0)1 64 10 15 58.

7. SNCF :  
Adresse : SNCF - Direction de la Circulation Ferroviaire  
François Pinton, Directeur des Affaires internationales, Recherche et Prospective.  
21, rue d'Alsace 75475 Paris CEDEX 10  
T. +33 (0)1 82 07 96 10/(72 96 10)

8. COFIROUTE  
[www.cofiroute.fr](http://www.cofiroute.fr)  
T. +33 (0)1 41 14 73 56  
Adresse du siège :  
COFIROUTE 6 à 10, rue Troyon  
F-92316 SEVRES CEDEX

9. Le Campus Condorcet (encore à l'état de début d'étude) : [www.campus-condorcet.fr](http://www.campus-condorcet.fr)  
La conception architecturale et urbaine de cet établissement, notamment dans ses dimensions économiques, territoriales et techniques, fait l'objet de multiples études susceptibles de vous intéresser, de mobiliser des connaissances scientifiques, et de nourrir un travail de recherche. C'est un projet de grande envergure qui s'inscrit dans la dynamique du Grand Paris et mobilise de nombreuses institutions. L'équipe est en pleine phase d'étude, notamment d'étude d'impact. La livraison des bâtiments est prévue pour fin 2016/début 2017. Le Directeur Général (ancien élève de l'X lui-même) est prêt à accueillir l'un d'entre vous pour le stage d'option.

10. Aéroports de Paris

11. Atelier du Grand Paris  
13, Avenue du Président Wilson  
75116 Paris  
Bertrand Lemoine  
[bertrand.lemoine@ateliergrandparis.com](mailto:bertrand.lemoine@ateliergrandparis.com)  
En 2012 cette structure a reçu une élève de notre École : Marc-Antoine Lemonnier.

12. A l'étranger (en 2012 cette structure a reçu une élève de notre École : Guillemette Zuber)  
Chalmers University of Technology,  
Department of Architecture  
Paula Femenías, Forskarassistent/Assistant Professor  
Adresse postale :  
S- 412 96 Göteborg – Suède  
T. +46 (0)31 772 24 58  
[paula.femenias@chalmers.se](mailto:paula.femenias@chalmers.se)  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

13. A l'étranger: (en 2012 cette structure a reçu une élève de notre École: Cécile Martinier)

Columbia University, CIESIN - Earth Institute – Palisades, 10964

New York États-Unis

M. XING Xiaoshi

xxiaoshi@ciesin.columbia.edu

14. Direction Régionale d'Alsace, service des Transports la Directrice Floriane Torchin, à la tête d'une équipe de 18 personnes, avec un budget de 250 millions d'euros. elle est Polytechnicienne, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Floriane.torchin@gmail.com

Vous pouvez la contacter de ma part en précisant que je suis un ami proche de sa tante Dahlia.

## V. Instituts, agences d'urbanisme

Vous pouvez aussi sous orienter du côté des agences d'urbanisme (ce sont des associations ou fondations regroupant des acteurs issus des collectivités territoriales, des chercheurs, experts, etc.), notamment:

1. IAURIF: l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la Région parisienne.  
www.iau-idf.fr

2. A'URBA: l'agence d'urbanisme de Bordeaux, qui travaille en partenariat avec l'École Nationale des Travaux Publics de l'État.  
www.aurba.org

3. URBALYON:  
l'agence d'urbanisme de Lyon.  
www.urbalyon.org

## HSS593B

### Art, patrimoine, société

On discutera avec les élèves d'opportunités de stage (à Paris mais surtout en province) dans le domaine artistique et culturel – musées, galeries, fondations, organismes privés... – en privilégiant une approche où la production, les croisements avec les problématiques scientifiques et technologiques sont prédominantes.

On peut penser, entre autres, à des participations à des missions telles que: l'élaboration d'outils de recherches documentaires et patrimoniales, l'élaboration d'outils de

médiation à destination des publics, l'ingénierie ayant trait à la conservation de collections mais aussi le soutien à des productions d'œuvres ou d'expositions dans lesquelles des compétences en sciences dures sont requises.

Responsable

**Thomas Schlessler**

thomas.schlessler@club-internet.fr

# INFORMATIQUE

Coordinateur:

INF591

► Olivier Bournez – T. +33 (0)1 77 57 80 78 – [olivier.bournez@polytechnique.edu](mailto:olivier.bournez@polytechnique.edu)

INF592

► Michalis Vazirgiannis – T. +33(0)1 77 57 80 56

[michalis.vazirgiannis@polytechnique.edu](mailto:michalis.vazirgiannis@polytechnique.edu)

Assistante du département:

► Catherine Bensoussan – T. +33 (0)1 77 57 80 55

[catherine.bensoussan@polytechnique.edu](mailto:catherine.bensoussan@polytechnique.edu)

► Jackie Gardin – T. +33(0)1 69 35 69 90 – [jackie.gardin@polytechnique.edu](mailto:jackie.gardin@polytechnique.edu)



## INF591

### Informatique

Responsable  
Olivier Bournez

#### Stages de recherche en Informatique

Les stages de recherche en informatique abordent un ensemble large et varié de questions, qui illustrent l'importance et la diversité des recherches contemporaines en informatique. Ces questions vont de problèmes théoriques auxquels les élèves apportent parfois des réponses innovantes aux applications industrielles, mais toujours avec une composante scientifique ou technologique forte.

Les stages proposés sont issus d'une demande large dans les meilleurs centres de recherche internationaux académiques et industriels. Ils permettent de prendre conscience que les développements innovants, en particulier dans le monde industriel, s'appuient la plupart du temps sur un solide corpus de connaissances théoriques. Ils permettent également de prendre conscience de la complexité, sans précédent historique, des systèmes informatiques construits aujourd'hui. Ainsi derrière un banal processeur se cache toute la chaîne de production informatisée qui va de la conception modulaire jusqu'au dessin des masques, en passant par les algorithmes de preuve symbolique des circuits. De même, la complexité de l'écriture de logiciels devant s'exécuter simultanément et de façon coordonnée sur plusieurs milliers de machines est d'une nature telle qu'il est impossible d'espérer un fonctionnement correct, sans une méthodologie systématique.

Les élèves décidés à faire une carrière dans la recherche y trouveront matière à confirmer leur vocation pour un domaine particulier et découvriront la vie des laboratoires. Les autres élèves pourront se familiariser avec le monde de la recherche et de l'innovation, que la quasi-totalité d'entre eux sera amenée à côtoyer d'une manière ou d'une autre au cours de sa carrière. Ce stage sera aussi l'occasion, pour certains, d'opter pour une formation par la recherche, sanctionnée par un doctorat, qui est souvent le diplôme de référence dans l'industrie informatique mondiale.

Il est fortement conseillé d'avoir suivi l'un des programmes d'approfondissement proposés par le département d'informatique pour profiter pleinement de son stage.

On peut trouver la liste des stages effectués les années précédentes sur cette page.

#### Niveau requis

M1 en informatique ou équivalent.

#### Modalités d'évaluation

Les élèves rédigent un mémoire de stage, qu'ils soutiennent devant un jury.

## INF592

### Internship in Data Science

Les stages de recherche en Sciences de Données abordent un ensemble large et varié de questions, qui illustrent l'importance et la diversité des recherches contemporaines en Intelligence Artificielle, Machine Learning and Bigdata. Ces questions vont de problèmes théoriques auxquels les élèves apportent parfois des réponses innovantes aux applications industrielles, mais toujours avec une composante scientifique ou technologique forte.

Les stages proposés sont issus d'une demande large dans les meilleurs centres de recherche internationaux académiques et industriels. Ils permettent de prendre conscience que les développements innovants, en particulier dans le monde industriel, s'appuient la plupart du temps sur un solide corpus de connaissances théoriques. Ils permettent également de prendre conscience de la complexité, sans précédent historique, des systèmes informatiques construits aujourd'hui. Ainsi derrière un banal processeur se cache toute la chaîne de production informatisée qui va de la conception modulaire jusqu'au dessin des masques, en passant par les algorithmes de preuve symbolique des circuits. De même, la complexité de l'écriture de logiciels devant s'exécuter simultanément et de façon coordonnée sur plusieurs milliers de machines est d'une nature telle qu'il est impossible d'espérer un fonctionnement correct, sans une méthodologie systématique.

Les élèves décidés à faire une carrière dans la recherche dans ce domaine y trouveront matière à confirmer leur vocation pour un domaine particulier et découvriront la vie des laboratoires. Les autres élèves pourront se familiariser avec le monde de la recherche et de l'innovation, que la quasi-totalité d'entre eux sera amenée à côtoyer d'une manière ou d'une autre au cours de sa carrière. Ce stage sera aussi l'occasion, pour certains, d'opter pour une formation par la recherche, sanctionnée par un doctorat, qui est souvent le diplôme de référence dans l'industrie informatique mondiale.

Il est fortement conseillé d'avoir suivi l'un des programmes d'approfondissement en Sciences de Données proposés par le département d'informatique pour profiter pleinement de son stage.

#### Niveau requis

M1 en informatique ou équivalent.

#### Modalités d'évaluation

Les élèves rédigent un mémoire de stage, qu'ils soutiennent devant un jury.

Responsables

Apostolos

Papadopoulos

Michalis

Vazirgiannis

# MANAGEMENT DE L'INNOVATION ET ENTREPRENEURIAT

Coordinatrice :

➤ Florence Charue-Duboc – T. +33 (0)1 81 87 21 62  
florence.duboc@polytechnique.edu

Assistante du département :

➤ Sophie Hucher – T. +33 (0)1 63 33 33 06 – sophie.hucher@polytechnique.edu





## MIE591

### Analyse de l'entreprise

L'objectif de ce stage est d'étudier scientifiquement un phénomène de gestion. Il s'agit de combiner la découverte de l'entreprise avec l'apprentissage à la recherche en Sciences sociales.

Le stagiaire choisit un objet de recherche qui l'intéresse et auquel il a accès par son stage. Il construit une problématique de recherche. Un grand nombre de sujets sont envisageables, comme par exemple: un phénomène organisationnel (constitution d'une équipe, prise de décision, gestion des risques), un problème de management (délais d'un projet, pannes, écarts entre le travail prescrit et le travail réel), des processus de gestion (recrutement, rémunération, choix d'une technologie ou d'un investissement, politique de distribution ou de prix, rapports entre services ou fonctions), le développement d'une nouvelle méthode de production (Kanban, SAP, lean management), la mise en œuvre d'un outil de contrôle (indicateur de performance, systèmes d'évaluation) ou les processus de commercialisation...

Le stagiaire apprendra ensuite à s'extraire des contraintes de l'urgence et de l'activité quotidienne pour construire une méthode scientifique distanciée sur son objet. Il apprendra également à lire des articles scien-

tifiques et à les mobiliser habilement pour l'analyse de son cas.

La recherche comprend normalement plusieurs étapes: une phase de description (acteurs, situations, contextes), la construction d'une méthodologie (entretiens, analyse de documents ou d'archives, observation, etc.), l'élaboration d'une analyse reposant sur une démonstration rigoureuse et un cadre théorique explicite. Une bibliographie scientifique est exigée, de même qu'une réflexivité sur la méthode mobilisée pour construire les résultats. La clarté de la démonstration écrite et de la présentation orale est également évaluée. Cette initiation à la recherche en sciences sociales vise au développement d'une compétence à la distanciation et à la démarche intellectuelle propre à la recherche. Elle doit permettre de dépasser un point de vue uniquement descriptif et subjectif et déboucher sur la construction d'un savoir nouveau à propos d'un phénomène organisationnel ou managérial.

Cette démarche de recherche peut s'appuyer sur les méthodologies développées depuis de nombreuses années par le Centre de Recherche en Gestion (CRG) de l'École, ainsi que celles portées par d'autres sciences sociales (sociologie, histoire, économie, psychologie).

Responsables

Alain

Jeunemaitre

Véronique Steyer

Les terrains de recherche peuvent être des entreprises privées comme des organisations publiques, internationales ou associatives. Dans tous les cas, ce stage ne peut être conçu uniquement comme un pré-recrutement : il faut prévoir un temps d'apprentissage à la recherche durant le stage.

Deux jours d'initiation aux méthodologies de la recherche en sciences sociales sont organisés avant et durant le stage. En outre, le stagiaire bénéficie d'un encadrement personnalisé (tutorat) pour l'aider à construire

son cadre théorique, sa méthode et organiser la présentation de ses résultats.

Afin de tirer le plus grand profit de cet enseignement, il est recommandé d'avoir suivi des cours et séminaires sur les problématiques de l'entreprise (économie, management, droit).

Les élèves doivent prendre contact avec Véronique Steyer afin de fixer un rendez-vous pédagogique individuel, préalable à toute inscription à cette option.

## **MIE592** Stratégie d'innovation et Conception (Parcours pic)

Responsables  
**Rémi Maniak**  
remi.maniak@  
polytechnique.edu

**Thierry Rayna**  
thierry.rayna@  
polytechnique.edu

Les stages de recherche dans le domaine du management de l'innovation sont basés sur une implication dans des projets d'innovation réels en entreprise. Le cursus propose une variété de problématiques et de situations d'entreprise. Pour les élèves réalisant leur 4<sup>e</sup> année dans le cadre du Master PIC, le stage de recherche est intégré au projet de Master et généralement réalisé en binôme X

HEC. La définition du stage de recherche doit donc être formulée en même temps que le choix de 4<sup>e</sup> année, au plus tard début 2017. Une douzaine maximum de place sont réservées à des élèves de l'X. Les étudiants intéressés doivent prendre contact le plus tôt possible avec l'enseignant responsable pour préciser son projet.

## MIE594

### Start-up Early Stage

#### Obligatoire pour les élèves suivant le PA Entrepreneuriat

Stage d'une durée de 3 à 5 mois, dans une startup en phase de démarrage de son activité, comprenant un aspect « recherche/contribution au développement du projet » consistant à ce que l'élève participe activement aux projets conduits par l'entreprise, et un aspect observation, consistant à observer les éléments spécifiques liés au développement et au démarrage d'une startup innovante, en discutant, observant la réalité à laquelle est confrontée l'entreprise.

« l'accent est mis sur le caractère « early stage » de l'entreprise (i.e encore en phase d'investigation et de caractérisation de son marché, de construction de sa proposition de valeur, de développement de sa technologie, etc.) afin de faire permettre à l'étudiant d'observer en situation la dynamique chaotique et exploratoire d'un projet technologique innovant de startup »

Responsable

**Bruno Martinaud**

bruno.martinaud@  
polytechnique.edu

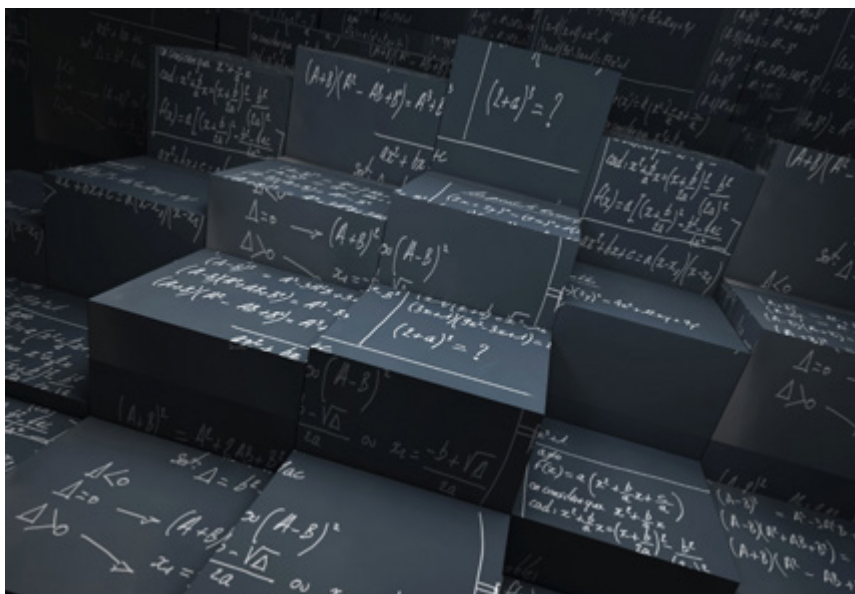
# MATHÉMATIQUES

Coordinateur:

► Anna Cadoret – T. +33 (0)1 69 33 49 25 – [anna.cadoret@polytechnique.edu](mailto:anna.cadoret@polytechnique.edu)

Assistante du département:

► Carole Juppín – T. +33 (0)1 69 33 49 59 – [carole.juppín@polytechnique.edu](mailto:carole.juppín@polytechnique.edu)



## MAT591

### Groupes et représentations

Les groupes apparaissent naturellement dans de nombreux domaines des mathématiques, de la physique et d'autres sciences fondamentales comme ensemble de transformations laissant une certaine structure invariante.

A ce titre, la théorie des représentations des diverses classes de groupes (groupes finis, groupes de Lie, groupes algébriques), ou

d'objets apparentés (algèbres de Lie, algèbres de Hopf, groupes quantiques) joue un rôle fondamental et central en mathématiques. Citons en particulier la physique mathématique (théories de jauge, théorie quantique des champs), et la théorie des nombres (groupes de Galois, formes automorphes, programme de Langlands).

Responsable  
David Renard

## MAT592

### Analyse et applications

Les domaines classiques des mathématiques que sont l'analyse harmonique et la théorie des équations aux dérivées partielles donnent lieu à de très nombreuses applications dans des domaines de plus en plus variés. La plupart des stages proposés sont de nature essentiellement théorique (certains d'entre eux peuvent comporter une part d'expérimentation numérique) mais les phénomènes qu'ils modélisent couvrent un champ scientifique extrêmement vaste. Il s'agit d'une illustration et non pas d'une liste limitative. Dans la plupart des branches de l'Analyse, d'autres sujets peuvent être proposés au cas par cas, en France ou à l'étranger.

*Voici quelques exemples de thèmes qui pourront être abordés :*

#### Equations de la Mécanique quantique :

Il s'agit d'étudier l'équation de Schrödinger dans différents cadres. Par exemple, l'étude

des résonances (généralisation de la notion de valeur propre) pour l'équation de Schrödinger linéaire est liée à la recherche d'états métastables. Des équations de Schrödinger non linéaires interviennent en chimie moléculaire. Un large usage de l'analyse fonctionnelle se joint à des méthodes asymptotiques de nature plus géométrique.

#### Équations des ondes et relativité générale :

La résolution des équations d'Einstein vues comme système d'équations aux dérivées partielles d'évolution pose de redoutables problèmes. Sur des modèles simplifiés de type « équations des ondes », des phénomènes de type dispersif apparaissent. L'un des outils clefs de la compréhension de ces phénomènes est ce que l'on appelle maintenant l'analyse microlocale, branche issue de l'analyse de Fourier dans les années 1970.

Responsable  
François Golse

### Modeles cinétiques:

Les modèles cinétiques décrivent différents systèmes physiques (gaz, gaz ionisés, plasmas...) par une approche statistique au niveau microscopique (moléculaire ou atomique). Ce sont en général des équations aux dérivées partielles avec des termes non locaux, qui posent toute une variété de problèmes importants de la physique mathématique (comme par exemple les questions liées à la vitesse de convergence vers les états d'équilibre, ou encore certains effets dispersifs). L'étude de ces modèles fait appel aux outils traditionnels de l'analyse, avec dans certains cas des interprétations intéressantes du point de vue probabiliste.

### Modélisation des accidents vasculaires cérébraux:

Certaines modélisations donnent lieu à des équations aux dérivées partielles de type « réaction-diffusion ». Il s'agit d'un domaine d'application tout récent.

### Mécanique des fluides géophysiques:

Les modèles simplifiés de fluides géophysiques prennent en compte les effets de la rotation de la Terre. La compréhension des phénomènes d'amortissement et des effets de bord a fait récemment de grands progrès. Les outils mathématiques utilisés sont la théorie des systèmes paraboliques et l'analyse de Fourier.

### Solitons et étude qualitative des solutions:

La description du comportement en temps grand des solutions de Korteweg de Vries (KdV) et de Schrödinger nonlinéaires est un thème de recherche actif mathématiquement et très important du point de vue physique. Les équations de KdV et de Schrö-

dinger sont considérées comme des modèles universels de systèmes hamiltoniens en dimension infinie et apparaissent dans un très grand nombre de phénomènes physiques. Les solitons sont des solutions particulières de ces équations, de type ondes progressives ou périodiques. Le but du stage est d'abord de comprendre des résultats récents sur l'étude des solutions qui sont dans un voisinage des solitons, et dans un deuxième temps de poursuivre l'étude des solutions qui ont un comportement en temps grand proche de celui des solitons.

*Exemples de stages effectués les années antérieures:*

- Ondelettes et caractérisation des chirps (ENS Cachan).
- Variational problems with 2 phases and their free boundaries (MIT, Cambridge, USA).
- Méthodes topologiques en mécanique des fluides (Céramade, université Paris IX Dauphine).
- Ondelettes et compression (ENS Cachan).
- Analyse automatique des états veille-sommeil (ENS Cachan).
- Développement asymptotique aux ordres élevés du champ diffracté par un cône semi-infini avec conditions de surface mixtes (CEA, Bruyères-le-Châtel).
- Interfaces dans des problèmes de transitions de phase, (Université Pierre et Marie Curie).
- Inégalités de Carleman et applications (Centre de Mathématiques de l'École polytechnique).
- Ondelettes et approximation non-linéaire (Princeton University, USA).

## MAT593

### Géométrie et Systèmes dynamiques

#### Géométrie

La géométrie étudie des espaces topologiques pourvus d'une structure supplémentaire: différentielle, riemannienne, lorentzienne, symplectique, holomorphe, algébrique, etc. Souvent issues de la physique, ces structures forment en retour le cadre naturel dans lequel se formulent les théories de la physique contemporaine, en particulier lorsque des phénomènes globaux sont mis en jeu.

D'un point de vue mathématique, les structures en question donnent lieu à autant de branches des mathématiques, qui interagissent entre elles de multiples façons et s'appuient sur un large éventail de techniques analytiques, algébriques et topologiques.

Ainsi, la théorie des surfaces de Riemann pourra être abordée du point de vue de la géométrie riemannienne, de l'analyse complexe, de l'analyse harmonique et de la géométrie algébrique. Ceci vaut plus généralement pour la géométrie complexe, qui étudie les variétés définies par des fonctions holomorphes.

*Voici quelques pistes possibles pour des sujets de stage dans ces directions.*

- Géométrie riemannienne: topologie et courbure.
- Théorie de jauge: l'étude des connections sur un fibré vectoriel, qui constitue le cadre naturel de la théorie de Yang-Mills.
- Surfaces de Riemann: existence de fonctions méromorphes, théorème d'Abel-Jacobi, etc.

- Théorie de Hodge: analyse harmonique sur les variétés et cohomologie de de Rham.
- Introduction aux courbes algébriques.
- Fonctions holomorphes de plusieurs variables et pseudoconvexité.
- Feuilletages et tissus.

#### Systèmes dynamiques

L'objet des systèmes dynamiques est l'étude sur un temps long d'une transformation agissant sur un espace de configurations. Les systèmes physiques sont souvent décrits par des équations différentielles qui conduisent à des flots continus et donc à une telle étude. Comme en général une équation différentielle ne s'intègre pas explicitement, on essaie d'obtenir des informations qualitatives en discrétisant le temps. On est alors amené à considérer des systèmes dynamiques discrets.

Ces deux grandes catégories se divisent elles-mêmes en de multiples sous-catégories en fonction de la nature de la transformation et des structures géométriques qu'elle préserve (mesurable, topologique, différentiable, symplectique, holomorphe, algébrique). Si cette classification reste bien sûr très perméable, elle permet de dégager des concepts généraux pour chacune des classes. Mais souvent, ce sont en définitive les exemples significatifs exhibant de nouveaux phénomènes dynamiques qui orientent la recherche. Listons un peu plus en détails quelques pistes pour des sujets de stage.

Responsable  
Sébastien  
Boucksom

► Dynamique symbolique. L'espace est une suite de symboles d'un alphabet fini, la transformation le décalage des coordonnées. Les propriétés de ces suites font intervenir des notions de bases de théorie ergodique comme l'entropie.

► Le flot géodesique. C'est un flot naturel sur toute surface, dont l'étude est particulièrement intéressante lorsque la courbure est négative. Sa dynamique permet de décrire des propriétés géométriques globales de la surface.

► Les systèmes hamiltoniens. Ces systèmes apparaissent naturellement en mécanique classique. Des techniques délicates permettent soit de construire des orbites périodiques (dans le problème à trois corps par exemple) ou de décrire leur stabilité (théorème KAM).

► Dynamique en petite dimension. L'étude de la famille  $x \mapsto ax(1-x)$  sur l'intervalle  $[0,1]$  présente des bifurcations en cascade

spectaculaires, dont l'étude constitue une bonne introduction au chaos, et aux phénomènes d'universalité. Cette famille s'étend en dimension 2, et on peut alors observer des attracteurs étranges.

► Dynamique holomorphe. La théorie de l'itération des polynômes du plan complexe est particulièrement riche, et mélange analyse complexe et topologie des compacts du plan. Cette théorie est particulièrement visuelle, et de nombreuses images de fractales peuvent être obtenues, dont l'interprétation s'avère redoutable.

► Dynamique algébrique. Si l'itération d'applications rationnelles en dimension quelconque est un domaine qui mélange plusieurs théories difficiles, certaines questions avec des aspects numériques peuvent être abordées, comme par exemple l'étude de la croissance des degrés.

## MAT594

### Théorie des nombres

Responsable  
Gaëtan  
Chenevier

La théorie des nombres fascine par la simplicité de ses énoncés et l'imprévisibilité de ses solutions. De fait, la théorie des nombres utilise des techniques provenant de quasiment toutes les branches des mathématiques et il y a presque une branche de la théorie des nombres par branche des mathématiques avec des passerelles (ou des autoroutes) permettant de passer d'une branche à l'autre.

Par exemple, le grand théorème de Fermat (un cube n'est pas somme de deux cubes, et plus généralement une puissance  $n$ -ième n'est pas somme de deux puissances  $n$ -ièmes), énoncé vers 1650, nécessita pour sa résolution les efforts combinés d'un nombre impressionnant de mathématiciens durant près de quatre siècles. Sa solution définitive en 1994, par les travaux de Ribet, Wiles et Taylor, court sur plus de deux cents



pages d'articles de recherche qui eux-mêmes reposent sur quelques milliers de pages empruntés à diverses branches des mathématiques (fonctions d'une variable complexe, théorie des représentations, analyse harmonique, géométrie algébrique...).

Dans la même veine, le problème des nombres congruents (quels sont les nombres entiers qui sont l'aire d'un triangle rectangle à côté de longueur rationnelle) remonte au moins au 10<sup>e</sup> siècle, et il a fallu attendre 1983 pour que Tunnell donne un critère simple pour qu'un nombre ne soit pas congruent et, modulo la conjecture de Birch et Swinnerton-Dyer (un des problèmes à un million de dollar), pour qu'il soit congruent.

Dans un genre différent, la répartition des nombres premiers regorge de conjectures en tous genres. Le théorème des nombres premiers (donnant une formule asymptotique pour le nombre de nombres premiers), entrevu par Euler, ne fut démontré qu'en 1896, en utilisant la théorie des fonctions holomorphes et plus spécifiquement les propriétés de la fonction zêta de Riemann dans le plan complexe. L'hypothèse de Riemann, formulée en 1858 (un autre problème à un million de dollar), et qui a des conséquences profondes sur la répartition des nombres premiers, a résisté jusqu'à ce jour aux assauts répétés des mathématiciens. Bien malin qui peut prétendre savoir d'où viendra la solution.

Green et Tao ont démontré en 2004 que l'ensemble des nombres premiers contient des progressions arithmétiques de longueur arbitraire résolvant ainsi une très vieille question. Leur démonstration combine des idées probabilistes et d'autres venant de la théorie ergodique.

On conjecture (conjecture abc) que si  $a+b=c$ , où  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sont des nombres entiers premiers entre eux, alors  $c$  ne peut pas être beaucoup plus gros que le produit des nombres premiers divisant le produit  $abc$ . Une démonstration permettrait de déterminer (en principe) les solutions en nombres rationnels de la plupart des équations en deux variables. Les attaques actuelles reposent sur la géométrie d'Arakelov qui combine de la théorie algébrique des nombres classique, de la géométrie algébrique et de l'analyse fine sur les variétés.

Les problèmes ci-dessus donnent une petite idée de la diversité des questions qui se posent, mais ne recouvrent pas, loin s'en faut, la totalité des champs abordés par la théorie des nombres (il manque, entre autres, la théorie des nombres transcendants, les questions algorithmiques, les applications à la cryptographie...).

# MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

Coordinateur:

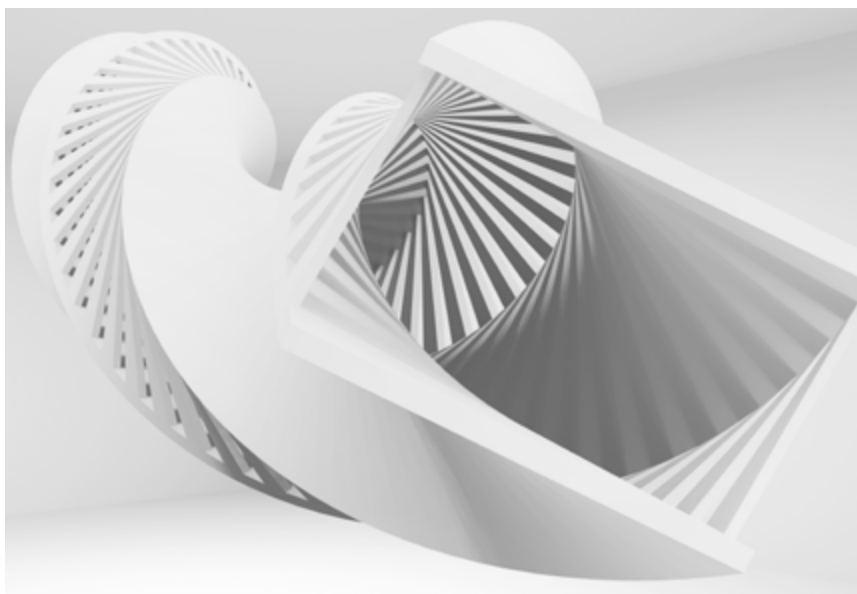
► François Alouges – T. +33 (0)1 69 33 46 31 – [alouges@cmap.polytechnique.fr](mailto:alouges@cmap.polytechnique.fr)

Responsable de l'administration et du pilotage du département:

► Cristina Gastineau – T. +33 (0)1 69 33 46 27 – [cristina.gastineau@polytechnique.edu](mailto:cristina.gastineau@polytechnique.edu)

Assistante du département:

► Nicoletta Bourgeois – T. +33 (0)1 69 33 46 02 – [nicoletta.bourgeois@polytechnique.edu](mailto:nicoletta.bourgeois@polytechnique.edu)



## MAP591

### Signal et image

L'analyse et le traitement automatique d'informations contenues dans des signaux ou des images est une branche importante du traitement des données dont les applications sont considérables. Les domaines d'applications sont très variés: imagerie médicale, apprentissage et reconnaissance (images ou parole), vision par ordinateur, problèmes inverses, compression, télécommunications...

Des stages sont offerts en France ou à l'étranger, en milieu industriel ou dans des centres de recherche.

Nos partenaires étrangers sont en Europe (UK, Allemagne, Autriche, Suisse), mais aussi aux Etats-Unis, en Australie...

Dans tous les cas, l'objectif est de donner aux élèves l'occasion de participer à un travail de recherche ou à un développement industriel innovant, tout en enrichissant leurs connaissances. Ces stages comportent tous une partie modélisation et implémentation dont le ratio dépend du stage.

Cette option est dans le sillage du cours MAP555 de Traitement du signal mais ce cours n'est en rien un prérequis.

Un catalogue de stage est disponible en ligne mais nous sommes à votre disposition pour vous aider à construire votre stage de rêve sur cette thématique.

Responsables

**Antonin**

**Chambolle**

antonin.chambolle@polytechnique.edu

## MAP592

### Modélisation et calcul scientifique

La modélisation est le processus qui formalise un problème concret en termes mathématiques accessibles à l'analyse et au calcul numérique.

Le calcul scientifique est le domaine inter-disciplinaire qui regroupe les méthodes et les algorithmes permettant d'effectuer, à l'aide d'ordinateurs, des simulations numériques fondées sur une démarche scienti-

fique. La plupart des modèles font intervenir des équations (différentielles ou aux dérivées partielles) trop compliquées pour être résolues par des méthodes élémentaires ou à l'aide des techniques du calcul formel. Le calcul scientifique se propose de donner des solutions approchées numériques à ces modèles. Le développement du calcul scientifique est lié à l'accroissement régulier de la puissance des ordinateurs. C'est donc un secteur en continuelle évolution.

Responsables

**Grégoire Allaire**

gregoire.allaire@polytechnique.edu

Les entreprises qui utilisent et développent la modélisation et le calcul scientifique sont aussi bien des grandes entreprises étatiques ou privées chargées de concevoir et développer des systèmes complexes que des petites entreprises ou des jeunes pousses spécialisées dans le développement logiciel. Elles interviennent dans tous les secteurs d'activité: aéronautique et spatial, énergie et environnement, automobile, services et télécommunications, génie civil. Réservée au dimensionnement amont et à la vérification de systèmes complexes il y a encore peu de temps, la simulation numérique s'est largement répandue car elle permet d'économiser des temps importants sur les cycles de conception et production de produits nouveaux plus élémentaires. Très souvent la conception d'un objet ou d'un système répondant à des spécifications générales se formalise comme un problème d'optimisation sous contraintes. La modélisation et le calcul scientifique sont donc très souvent utilisés en combinaison avec des méthodes d'optimisation.

### Stage d'avril à juillet

L'option «modélisation et calcul scientifique» est conçue pour des élèves qui cherchent une formation dans cette spécialité, soit pour aborder un problème industriel, soit pour s'initier à la recherche et ce, quel que soit le choix ultérieur de leur carrière. Pour ceux qui veulent faire ensuite la filière «mathématiques de la modélisation» du Master de Mathématiques Appliquées de l'École polytechnique (en cotutelle avec l'Université de

Pierre et Marie Curie), le stage peut être une première étape importante. Pour les élèves très motivés qui veulent s'expatrier durant leur stage de recherche, il est possible de trouver des sujets de stages dans des universités étrangères.

#### *Exemples de stages effectués les années passées:*

- Méthodes adaptatives et multiéchelles.
- Assessment and design of optical fiber systems.
- Problème inverse en électromagnétisme.
- Aeroelastic modelling.
- Numerical methods for Maxwell equations.

#### *Organismes d'accueil:*

- Laboratoires publics de recherche: CEA, CEMAGREF, IFREMER, IFPEN, INRIA, ONERA, Écoles d'ingénieurs et Universités.
- Grandes entreprises et centres de recherche appliquée: Airbus, Dassault Aviation, EDF, Michelin, PSA, Renault, Safran, Schlumberger, Thales, Total, Valéo.
- Organismes d'accueil à l'étranger: Universités américaines, asiatiques ou européennes.

#### **Niveau requis**

Avoir suivi des cours d'analyse numérique et/ou d'optimisation.

#### **Modalités d'évaluation**

Rapport écrit et soutenance.

## MAP593

### Automatique et Recherche Opérationnelle

Cette option regroupe deux disciplines complémentaires : l'automatique, art de la commande de systèmes dynamiques, et la recherche opérationnelle, qui met en œuvre les techniques d'optimisation continue et discrète. Ces deux secteurs connaissent une demande soutenue.

L'automatique est très utilisée depuis longtemps en aéronautique et dans les processus de production (chimie, cimenteries, laminage, biotechnologies). Avec l'invasion de l'électronique elle devient un élément-clé dans de nouveaux secteurs comme l'automobile. Elle intervient aussi dans la commande de grands systèmes. Elle comprend des sujets d'interface avec plusieurs domaines, comme l'ingénierie quantique ou l'écologie.

La recherche opérationnelle est la technique fondamentale de résolution des problèmes de gestion complexes : plans de production, horaires de transport, affectation de moyens, conception de réseaux, investissements.

Ces deux disciplines sont présentes dans les grandes entreprises mais aussi dans de petites sociétés. Elles occupent une place importante dans les universités françaises comme étrangères.

#### Stage d'avril à juillet :

L'option « Automatique et Recherche Opérationnelle » est conçue pour des élèves qui cherchent une formation dans cette spécialité, soit pour aborder un problème industriel, soit pour s'initier à la recherche et ce, quel-

que soit le choix ultérieur de leur carrière. Pour les élèves très motivés qui veulent s'expatrier durant leur stage d'option, il est possible de trouver des sujets de stages dans des universités ou des petites sociétés étrangères.

*Exemples de stages effectués les années passées :*

#### Automatique :

- Stabilisation de satellites d'astéroïdes
- Commande optimale dans le domaine spatial
- Planification de trajectoires de robots

#### Recherche opérationnelle :

- Optimisation de réseaux telecom.
- Gestion de voies ferrées.
- Optimisation de production électrique.
- Gestion de réserves de gaz.
- Jeux de congestion appliqués au trafic routier.
- Optimisation semi-algébrique.

*Organismes d'accueil proposant des stages :*

- Laboratoires publics de recherche : IFREMER, IFP, INRIA, ONERA, LAAS, Écoles d'ingénieurs (dont ENPC) et Universités (dont UPMC).
- Grandes entreprises et centres de recherche appliquée : Air Liquide, Air France, Innovation24 (Bouygues), Orange Labs, EDF, Engie, Amadeus, SNCF.
- Organismes d'accueil à l'étranger : Universités étrangères (Columbia, San Diego, Berkeley, Cornell, Melbourne, TU-Berlin) ou européennes, IBM Singapore.

Responsables

Xavier

Allamigeon

xavier.allamigeon@inria.fr

Stéphane

Gaubert

stephane.gaubert@inria.fr

## MAP594

### Modélisation probabiliste et statistique

Responsables

**Vincent Bansaye**

bansaye@cmap.  
polytechnique.fr

**Emmanuel Bacry**

emmanuel.bacry@  
polytechnique.edu

Les stages de « Modélisation probabiliste et statistique » concernent généralement la construction et l'étude de modèles probabilistes destinés à décrire et analyser au mieux des phénomènes physiques, biologiques, informatiques ou économiques. Selon les objectifs visés, les modèles peuvent être utilisés comme outils pour analyser des données et proposer des prévisions (estimation, tests, prévision.) ou être analysés avec des méthodes probabilistes afin d'en cerner leurs comportements et leurs limites.

La pondération entre la partie probabiliste et la partie statistique est variable selon la problématique. Les domaines d'application de ces méthodes sont très divers: biologie (dynamique des populations, transmission du patrimoine génétique, sélection phylogéniques, réseaux de régulation biologique...), réseaux de communication (caractérisation du trafic, analyse probabiliste de protocoles, contrôle de la congestion), assurance (tarification, prévision des provisions...), économie (analyse et prévision d'agrégats macro-économiques...), etc.

Ces stages sont particulièrement destinés aux élèves ayant suivi le programme d'approfondissement de Mathématiques Appliquées (notamment les cours « Processus et estimation », « Réseaux de communication, algorithmes et probabilités », « Apprentissage statistique », « Modèles aléatoires en écologie et évolution »).

*Exemples de stages proposés les années précédentes:*

**En France**

► EDF

Incertitude autour de la prévision de la consommation électrique.

Analyse de l'utilisation des interconnexions électriques en Europe.

► VEOLIA

Modélisation de la biodiversité dans les bassins à boues activées.

► SCHLUMBERGER

Uncertainty assessment for CO<sub>2</sub> geological storage integrity.

► THOMSON

Navigability with a bias.

► TELECOM PARISTECH

Partage dynamique de bande passante dans l'internet.

► INRIA

Méthodes probabilistes pour l'équation de Poisson-Boltzmann en dynamique moléculaire.

► INRA

Analyse de la cyclostationnarité du climat Calédonien.

Modèles statistiques pour l'analyse des réseaux d'interactions biologiques.

Etude de la dynamique des repousses hors des parcelles de culture dans un agro-écosystème.

➤ ORANGE

Marche aléatoire dans la ville.

➤ EPFL (Lausanne)

Stabilité des réseaux d'accès sans fil: impact de la topologie.

À l'étranger

UNIVERSITY OF CALIFORNIA (Berkeley)

Development of flow model based algorithms for highway traffic estimation (Mobile Millennium).

Using mobile phones to estimate travel times in urban networks through the STARMA model.

Traffic forecasting using statistical machine learning.

➤ CMM-UNIVERSITY OF CHILE (Santiago)

Mathematical modeling and analysis of metabolic interaction networks.

➤ UNIVERSITA ROMA 3 (Rome)

Mixing time for reversible Markov Chains and applications.

➤ UNIVERSITY OF WATERLOO (Canada).

Bandwidth allocation policies in Wireless Networks.

➤ COLUMBIA UNIVERSITY (New York)

Verification/testing of statistical decadal forecasts.

Subnational Carbon Emissions from Selected Countries.

➤ NRS (Montréal)

Qualité de service et tarification des réseaux IP.

➤ IMPERIAL COLLEGE (London)

Influence in on-line social networks.

Dissemination of Information in Distributed Networks.

➤ Ecole polytechnique (Montréal)

Machine learning and operational research.

## MAP595

### Mathématiques financières

Responsables

**Stefano De Marco**

stefano.de.marco@  
cmap.polytechnique.fr

**Pierre**

**Henry-Labordère**

pierre.henry-  
labordere@sgcib.com

**Nizar Touzi**

touzi@cmap.  
polytechnique.fr

Les stages proposés en Mathématiques financières se passent en général dans les centres de recherche des salles de marché des banques ou d'autres organismes, tels des fonds d'investissement. Pour certains stages, il est indispensable d'avoir suivi le cours « Modèles stochastiques en finance » de troisième année. Les stages à l'étranger se déroulent soit dans la banque, soit dans des centres de recherche académiques.

Certains stages nécessitent plusieurs entretiens avec différentes équipes.

*Exemples de stages proposés les années précédentes*

**En France**

➤ AXA

➤ Optimisation de stratégie tarifaire

➤ CMAP

Principal-Agent à plusieurs agents et à une dynamique de sauts. Applications à la structuration et la tarification des contrats d'électricité

➤ CREDIT SUISSE

Méthodes génétiques pour l'optimisation de portefeuilles

➤ KEPLER CHEVREUX

Dynamiques de données de carnet d'ordres et détection d'algorithmes

➤ SOCIETE GENERALE

Pricing de produits structurés très long terme

➤ UNIVERSITE PARIS 7

Modèles financiers avec arbitrage, application à la gestion actif-passif long terme

**A l'étranger**

➤ BLOOMBERG LP

Calibration of a Path Dependent Volatility model to the VIX and S&P markets

➤ PARIBAS London Branch

Models for Overnight indexed swap rates and Libor dynamics, and related Market risk

➤ BRITISH PETROLEUM

Application de techniques de Machine Learning à la méthode de Monte-Carlo des moindres carrés

➤ DEUTSCHE BANK Londres

Pricing and risk management of interest rate derivatives

➤ GOLDMAN SACHS

Predictive flow Analytics & inventory optimization

➤ IMC Trading

Identification of the impact of market participants on the European Futures Market



- JANE STREET  
The volume synchronized probability of informed trading
- JP MORGAN  
Capital optimization, funding optimization, derivatives clearing businesses, credit value adjustment
- JUMP TRADING INTERNATIONAL  
Latent order book in the context of market impact and liquidity drought
- MONASH UNIVERSITY  
Option pricing with linear market impact
- SQUAREPOINT CAPITAL  
Multi-period portfolio optimization to manage tail risk in equities
- UNIVERSITY OF OXFORD  
Numerics for the robust pricing and hedging problem in discrete time

# MÉCANIQUE

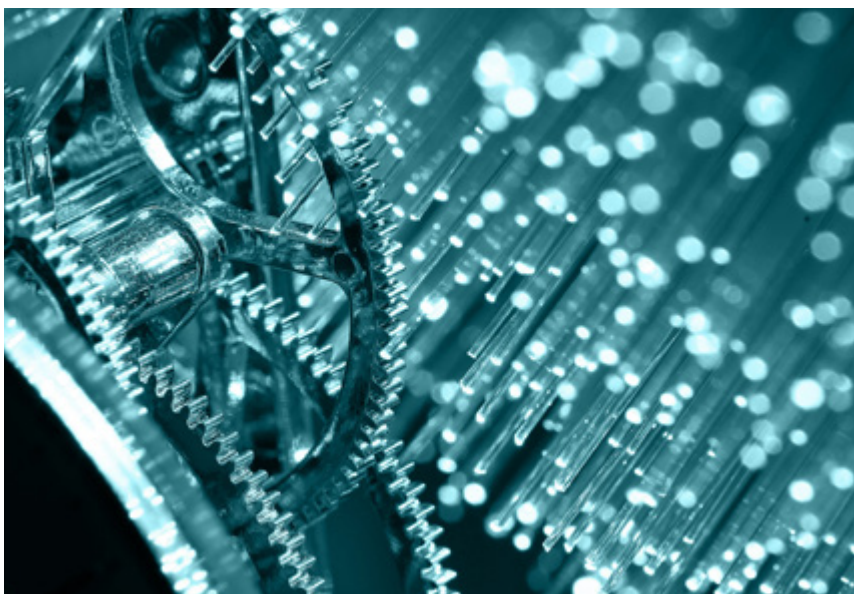
**Coordinateur:**

➤ Nicolas Triantafyllidis – T. +33 (0)1 69 33 57 98 – [nick@lms.polytechnique.fr](mailto:nick@lms.polytechnique.fr)

**Assistants du département:**

➤ Catherine Dieu – T. +33 (0)1 69 33 57 05 – [catherine.dieu@polytechnique.fr](mailto:catherine.dieu@polytechnique.fr)

➤ Sandra Schnakenbourg – T. +33 (0)1 69 33 56 76  
[sandra.schnakenbourg@polytechnique.edu](mailto:sandra.schnakenbourg@polytechnique.edu)



## MEC592

### Mécanique des matériaux et des structures

#### Description générale de l'option

Le développement des activités industrielles repose sur une maîtrise complète des systèmes matériels conçus par l'Ingénieur. En particulier, la sécurité des installations exige non seulement une connaissance parfaite des constituants, mais aussi une analyse approfondie de la réponse globale de ces systèmes sous sollicitations diverses afin de prévoir les phénomènes physiques ou mécaniques susceptibles de se produire.

Ces phénomènes pourront être statiques, répétés, variables, dynamiques ou différés. Les méthodes et démarches d'analyse de ces problèmes actuels de la mécanique des matériaux et des structures constituent la thématique de cette option.

#### Thèmes

*Les thèmes recouverts par l'option sont :*

- les matériaux nouveaux (composites, alliages à mémoire de forme, matériaux micro ou nanostructurés) mais aussi les matériaux plus traditionnels en constante évolution (métaux et alliages, polymères, bois, céramiques, verres...). Conception, élaboration, caractérisation et prévisions des propriétés en service et ultimes, analyse des relations entre comportements et microstructures, optimisation ;

- la réponse anélastique des matériaux et des structures sous sollicitations mécaniques et thermiques ;
- la mécanique de la rupture : rupture fragile ou ductile. Sécurité vis-à-vis de la rupture brutale. Calcul de la durée de vie des structures en fatigue ;
- les problèmes de stabilité et de bifurcation rencontrés dans les études de solides : le flambement des solides élastiques ou élastoplastiques, la stabilité de la propagation d'un système de fissures en rupture fragile,
- les méthodes numériques de l'ingénieur : la méthode des éléments finis : principe et pratique en liaison avec les codes de calcul de l'industrie, la méthode des équations intégrales.
- les matériaux intelligents, qui changent leur forme en fonction des champs magnétiques ou électriques externes
- les matériaux architecturés

#### Les stages

Des sujets de stage provenant des études actuelles dans les domaines technologiques en pleine évolution comme l'aéronautique et l'espace, l'offshore, le génie nucléaire, la géophysique, le génie industriel, l'ingénierie assistée par ordinateur, sont offerts aux élèves dans divers laboratoires industriels

Responsables

Nicolas

Triantafyllidis

nick@

lms.polytechnique.fr

Michel Jabbour

jabbour@

lms.polytechnique.fr

et universitaires de la région parisienne, en province ou à l'étranger.

Les élèves intéressés par l'option devront faire parvenir aux responsables de l'option la feuille de vœux disponible sur le site du catalogue (ressources pédagogiques). Cette feuille devra préciser les stages choisis parmi ceux proposés par l'option, dont la liste sera disponible en ligne sur le même site à partir d'octobre et sera régulièrement mise à jour, ou ceux que les élèves auront trouvés par eux-mêmes, et qui nécessiteront une validation par les responsables de l'option. Les élèves pourront toujours contacter l'un des responsables, pour définir avec lui le stage qui leur convient le mieux.

*Exemples de stages effectués les années précédentes:*

**En France :**

- Aéronautique et Espace :
  - EUROCOPTER: commande de rotor par volets intégrés.
  - ONERA: fissuration et délaminage d'un composite stratifié carbone/epoxy
  - CNES: comportement dynamique du propergol dans un booster.
  - AIRBUS: propagation de fissures courtes.
- Génie Industriel:
  - SAFRAN: microségrégation pour superalliages multicomposés base nickel.
  - PEUGEOT: stratégie de freinage récupératif dans un véhicule hybride.
  - SAINT-GOBAIN: comportement du verre..
  - TOTAL: étude de la résistance de réservoir de stockage

- CNRS-LMA: fatigue de matériaux composites stratifiés
- SNCF: fatigue de contact rail-roue

**A l'étranger (à titre indicatif) :**

- University of Minnesota (Minneapolis, USA): modélisation des matériaux architectures soumis à des grandes déformations.
- University of Minnesota (Minneapolis, USA): étude de formation des plis dans des polymères.
- ETH (Zurich, Suisse): métamatériaux auxétiques.
- Columbia University (New York City, USA): étude de réseaux de nanotubes de carbone.
- Friedrich-Alexander-Universität (Erlangen, Allemagne): élastomères électroactifs.
- Caltech (Pasadena, USA): étude des non-linéarités dans les milieux granulaires.
- Caltech (Pasadena, USA): transitions non-linéaires dans des structures périodiques multi-stables.
- McGill Univ. (Sherbrooke, Canada): optimisation des pales d'éoliennes en matériau composite.
- Université de Lodz (pologne): comportement de composites.
- Montanuniversität Leoben (Leoben): fragmentation des roches.
- University of Texas at Austin (USA): biomechanics.
- DuPont Photovoltaic Solutions SA (Meyrin, CH): flexible photovoltaïcs.

## MEC593

### Matière molle, fluides complexes, biomécanique et MEMS

#### Les objectifs du stage sont multiples

- initiation à la démarche scientifique prospective,
- apprentissage de techniques expérimentales de pointe ou participation au développement de modélisations complexes,
- apprentissage des contraintes éventuelles liées à la recherche sur le vivant,
- compréhension de certains enjeux scientifiques, économiques, médicaux ou éthiques de la recherche,
- participation à la vie et au fonctionnement d'une équipe de recherche.

Dans le cadre du stage, vous serez intégré à une équipe de recherche dans un organisme de recherche (ou un hôpital), en France ou à l'étranger.

#### Description générale du stage

Le développement actuel de techniques de mesures performantes (imagerie, micro-capteurs, micromanipulations), ainsi que d'outils d'analyse et de modélisation de plus en plus puissants, ont permis des progrès considérables dans différents domaines de la technologie. Ces progrès ne sont possibles que grâce à la formation d'équipes pluridisciplinaires où l'ingénieur a un rôle important à jouer.

La Biomécanique se situe ainsi à l'interface entre les Sciences de l'Ingénieur (mécanique, physique...) et les Sciences de la Vie (médecine, physiologie, biologie). Les problématiques abordées se situent à différents niveaux: cellule (adhésion de cellules sur un biomaté-

riau, caractérisation...), organe (écoulements dans les vaisseaux, mécanique des articulations, biomatériaux...) ou global (mécanique du mouvement, accidentologie...).

La matière molle est l'étude du comportement des matériaux spéciaux comme les fluides physiologiques ou agroalimentaires, les peintures, le pétrole, les polymères fondus, les cristaux liquides, les cosmétiques, les mousses, les boues ou les milieux granulaires. Tous ces matériaux sont tous des fluides complexes qui posent des questions de stabilité et de rhéologie (ils coulent souvent bizarrement). Leur comportement macroscopique est fortement influencé par leur microstructure et leurs propriétés interfaciales. Leur étude implique un couplage entre mécanique, chimie et physique, ainsi que des modes de raisonnement spéciaux (lois d'échelle, analyse dimensionnelle).

Les MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sont des systèmes miniaturisés, de taille micrométrique, que les nouvelles technologies permettent aujourd'hui de fabriquer massivement. Ces systèmes permettent d'effectuer toutes sortes de fonctions, comme la circulation de fluides dans une puce ADN, la thermalisation d'une réaction chimique dans un micro échangeur, ou la mise en mouvement d'un micro levier stabilisant une couche limite d'aile d'avion. Les MEMS, domaine fortement pluridisciplinaire, sont en très forte expansion économique aujourd'hui.

Responsable

**David Quéré**

david.quere@

polytechnique.edu

Dans le cadre du stage, vous serez intégré à une équipe de recherche dans un organisme de recherche (ou un hôpital), en France ou à l'étranger.

### Thèmes

Les thèmes d'étude peuvent couvrir divers aspects de la mécanique des fluides, de la mécanique des solides, de la physique statistique et de la science des matériaux.

Ecoulements physiologiques: grande circulation artérielle ou veineuse (modélisation et mesure), propriétés mécaniques des cellules, adhésion entre cellules, adhésion de cellules sur un biomatériau, organes artificiels: cœur, valves cardiaques, rein artificiel...

Biomécanique du système musculo-squelettique: articulations, prothèses osseuses ou articulaires, effet des chocs, biomécanique musculaire, adaptation fonctionnelle.

Fluides complexes: écoulement de polymères (rhéologie, injection dans un moule...), effet de fibres (composites), comportement de fluides pâteux et d'émulsions, milieux granulaires, dynamique des suspensions(-modèles statistiques ou macroscopiques, mesure, relations de fermeture...).

MEMS: la problématique des MEMS porte notamment sur l'étude des écoulements de fluides, mono ou polyphasiques, à l'échelle du micron, dans des situations inhabituelles pour la mécanique des fluides.

### Les stages

Les sujets de stage peuvent avoir un caractère expérimental avec ou non expérimentation in vivo. Des sujets de modélisation numé-

rique sont également proposés. Le stage se déroule en France ou à l'étranger. Le stage est organisé sur mesure en fonction du type de sujet qui intéresse l'élève et en fonction du pays où il souhaite effectuer son stage.

*Exemples de stages effectués dans les années précédentes:*

- Biomécanique
- UTC (Compiègne): Filtration du sang/encapsulation d'hépatocytes./modélisation de l'interaction entre deux cellules
- IGR (Paris) Elecroperméabilisation de membranes cellulaires
- LAB (Renault-PSA): propriétés biomécaniques d'un os.
- Université de Berlin: Modélisation d'un système d'assistance ventriculaire.
- Université de la Rhur (Bochum): Analyse des performances d'un hémodialyseur.
- Université d'Aix-la-Chapelle: hémolyse du sang dans un champ de cisaillement
- Imperial College (Londres): structure trabéculaire des os, disque intervertébral.
- University of Southern California (San Diego): Réponse de leucocytes à un cisaillement fluide.
- Georgia Tech (Atlanta): Etude du comportement cellulaire par analyse d'images.
- Washington University (Saint Louis): Modèle de contraction du muscle squelettique
- Mac Gill University (Québec): Interactions entre des globules blancs en suspension dans un conduit capillaire
- Université de Montréal (Québec): Analyse cinématique 3D de l'articulation du genou
- MIT: Mécanique cellulaire
- Fluides complexes

- Harvard: Dépôt de la peinture.
- Göttingen: Ecoulement des boues.
- Université de Twente: singularités aux interfaces.
- Stanford University: Stabilité d'un écoulement coaxial.
- Institut Français du Pétrole (Rueil-Malmaison): Modèles de décolmatage progressif d'un puits à la mise en production.
- Cambridge University: Mécanique du tas de sable.
- MEMS
- UCLA (Los Angeles): Traitement de parois pour un micro mélangeur
- ENS (Paris): Effet de glissement liquide solide dans un micro canal/Ecoulement diphasique dans une micro conduite.

#### Modalités d'évaluation

Rapport écrit de 20 à 30 pages.

Soutenance orale

## MEC594

### Aérodynamique et hydrodynamique

Le développement de nouvelles générations de véhicules aérospatiaux (avions atmosphériques et spatiaux, hélicoptères, missiles, lanceurs), maritimes (navires, sous-marins, engins d'exploration profonde, plates-formes d'exploitation océanique) ou terrestres soulève de nombreux défis en Mécanique des fluides qu'il faut correctement appréhender bien avant le stade de construction de prototypes.

Les contraintes de performances toujours accrues avec des préoccupations de coût de plus en plus sévères concernent notamment les aspects suivants :

- mobilité (vitesse, manoeuvrabilité),
- consommation (rendement propulsif),
- sécurité et confort (stabilité et contrôle, vibrations),
- bruit rayonné (cette option peut accueillir des stages a coloration acoustique)

Dans cette compétition, les capacités de modélisation, issues de la recherche fondamentale, sont un atout déterminant.

#### Thèmes

De nombreux problèmes d'écoulements complexes rencontrés sont communs à l'aérodynamique et l'hydrodynamique car liés aux phénomènes fondamentaux comme la turbulence, les décollements, les sillages tourbillonnaires. Ainsi les mêmes modèles numériques (Euler, Navier-Stokes...) et les mêmes moyens d'essais (souffleries, tunnels hydrodynamiques) sont souvent mis en oeuvre pour traiter les problèmes d'aérodynamique subsonique et les problèmes d'hydrodynamique. Toutefois, aérodynamique et hydrodynamique se distinguent par des effets spécifiques.

En hydrodynamique, on peut citer :

- la masse élevée du fluide (interactions gravitaires et inertielles entre le fluide et les structures),
- la présence d'une surface libre (diffraction-rayonnement de la houle par les obstacles),

Responsables

**Christophe**

**Clanet**

*Ladhyx*

T. +33 (0)1 69 33 52 58

clanet@ladhyx.

polytechnique.fr

- l'existence de mélange diphasique (phénomène de cavitation notamment).

En aérodynamique, les problèmes spécifiques sont ceux liés aux grandes vitesses :

- effets de la compressibilité de l'air (ondes de choc),
- effets thermiques,
- effets physico-chimiques à haute température (combustion, écoulements hypersoniques) ou à haute altitude (raréfaction).

Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années dans la connaissance et la prédiction des écoulements complexes, aussi bien par voie théorique ou numérique (méthodes numériques et utilisation de super-ordinateurs, théorie de la turbulence) que par voie expérimentale (mesures fines par vélocimétrie laser, nouveaux moyens d'essais à grande échelle).

L'aérodynamique et l'hydrodynamique sont des disciplines anciennes mais qui traversent actuellement une profonde mutation due en grande partie au développement des grands moyens informatiques et expérimentaux. Cette option se propose de mettre les élèves au contact direct des aspects les plus récents de ces disciplines et des défis industriels auxquels elles sont confrontées.

### Les stages

Les sujets de stages peuvent être à caractère fondamental (étude fine de phénomènes complexes dans des configurations simples) ou plus appliqué (étude plus globale de configurations de la réalité).

L'accent est mis tantôt sur l'application de méthodes analytiques, tantôt sur la mise en oeuvre ou l'amélioration de codes numériques ou encore l'acquisition, le traitement et l'interprétation de données expérimentales. Souvent, différents aspects sont associés, le sujet convenant alors mieux à un travail en binôme.

*Exemples de stages effectués les années précédentes*  
À titre indicatif, voici quelques sujets de stages proposés au cours des années précédentes.

### Aérodynamique

- ONERA (Châtillon S/Bagneux) :
  - Étude théorique et expérimentale de l'interaction onde de choc-couche limite en régime hypersonique.
  - Calcul d'écoulements dans les turbomachines.
  - Résolution des équations de Navier-Stokes pour les écoulements compressibles laminaires ou turbulents.
  - Étude de modèles numériques pour la simulation de la turbulence.
- AÉROSPATIALE (engins tactiques) :
  - Développement et applications de code « Euler » pour les écoulements autour de missiles et dans les entrées d'air.
- SNECMA (Villaroche) :
  - Applications d'une méthode inverse de calcul aérodynamique pour le dessin de profils d'aubes de compresseurs.
  - Calcul Navier-Stokes d'une entrée d'air de missile.
- DASSAULT Aviation (Saint-Cloud) :
  - Optimisation aérodynamique (« optimum design »).



- Modélisation de soufflage et d'aspiration dans un code Navier-Stokes K, Sde dimension 2.
- Étude des conditions aux limites dans la modélisation des entrées d'air.
- CNRS/Lab. d'AÉROTHERMIE (Meudon):
  - Étude expérimentale de champs d'écoulements hypersoniques en souffleries de gaz raréfiés.
- RENAULT (Rueil-Malmaison):
  - À partir des résultats d'essais expérimentaux, traitement informatique des mesures de vitesses de l'écoulement dans la chambre à combustion du moteur.
  - Interprétation des résultats.
  - Analyse des écoulements internes dans les moteurs.
- INRIA ROCQUENCOURT (Le Chesnay):
  - Optimisation de formes à partir de calculs en Navier-Stokes parabolisés.
  - Modélisation numérique du phénomène de Buffeting.
- Mesure de la résistance de vagues d'une carène par analyse du champ de vagues.
- Étude de la modélisation du couplage hélice-carène.
- CRAIN (La Rochelle)
  - Étude du comportement d'une barge en présence de houle.
- CNRS (Marseille):
  - Mesure expérimentale de taux de croissance de l'instabilité hydrodynamique de Landau sur des flammes de prémélange planes.
  - Impact de gouttes
- BUREAU VERITAS (La Défense):
  - Étude du chaos déterministe dans les équations d'onde en hydrodynamique nonlinéaire.
- LADHYX (Palaiseau):
  - Écoulement d'un film le long d'un plan incliné: développement spatio-temporel des instabilités.
- PRINCIPIA R & D (Sophia-Antipolis):
  - Stabilité et contrôle d'engins sous-marins télécommandés.
  - Modélisation de dispositifs atténuateurs de houle.

## Hydrodynamique

- BASSIN D'ESSAIS DES CARENES (Val de Reuil):
  - Modélisation de la génération artificielles de houle en bassin d'essais hydrodynamique.
  - Étude de dispositifs hypersustentateurs pour gouvernes hydrodynamiques.
  - Modélisation des non-linéarités de second ordre dans les problèmes de tenue à la mer.
  - Tenue à la mer d'un corps sous-marin.
- ENSTA (Palaiseau):
  - Cavitation en écoulements tourbillonnaires.
  - Diffusion de bulles dans un sillage turbulent.
  - Propagation d'ondes acoustiques dans un milieu diphasique.
- INSTITUT DE RECHERCHE DE LA CONSTRUCTION NAVALE (Paris):

- Mise en œuvre d'une méthode d'éléments finis pour le problème de diffraction, rayonnement en tenue à la mer.

#### Stages à l'étranger

##### ➤ ARIZONA STATE UNIVERSITY (Tempe):

- Modélisation of tethered satellites for the exploration of the upper atmosphere.

##### ➤ CALIFORNIA STATE UNIVERSITY (Long Beach):

- Laminar turbulent boundary layer transition over lifting surfaces.

##### ➤ UNIVERSITY OF CALIFORNIA (Davis):

- Optimisation de géométries à l'aide d'outils numériques.

##### ➤ UNIVERSITY OF OTTAWA:

- Oscillatory flow past an axisymmetric sudden expansion.

##### ➤ UNIVERSITY OF CAMBRIDGE:

- Gravity currents over porous media.

##### ➤ AEROSTRUCTURE DEPARTMENT (Farmborough)

- Oscillations dans les profils de vitesse de couche limite.

Marche à suivre en cas d'intérêt pour cette option

Cette option fonctionne en proposant chaque année une liste de stages suggérés par nos contacts durant le mois de septembre. Cette liste donne lieu à un catalogue distribué aux élèves qui en font la demande à la réunion de présentation des options du Département de Mécanique ou (dès le lendemain) par simple e-mail adressé à Antoine Sellier. Nous incitons les élèves à choisir un sujet au sein de ce catalogue car nous connaissons les encadrements nationaux et internationaux qui proposent ces stages. Toutefois, nous pouvons également finaliser d'autres stages d'option avec un élève qui a une idée et une motivation très précises. Dans ce but, nous contacter après lecture du catalogue **et noter que la définition du stage doit s'effectuer en concertation avec les responsables de l'option. les stages n'offrant pas de contenu scientifique suffisant seront refusés.**

## MEC595

### Génie civil et génie pétrolier

Les méthodes et démarches d'analyse de ces problèmes actuels de la mécanique des matériaux et des structures appliquées en génie civil et génie pétrolier constituent la thématique de cette option.

Période des stages avril - juillet (ou août) en laboratoires universitaires et entreprises.

#### Thèmes

Les thèmes recouverts par l'option sont :

- l'évolution et l'analyse des structures et leur interaction avec l'environnement (sols, massifs...)
- l'étude du comportement des matériaux constitutifs, par l'expérimentation et la modélisation théorique ou numérique, éventuellement multiéchelle,
- dimensionnement des structures avec prise en compte de phénomènes divers : plasticité, stabilité, rupture, grandes déformations, fatigue, contact...
- les méthodes numériques de l'ingénieur : la méthode des éléments finis : principe et pratique en liaison avec les codes de calcul de l'industrie, la méthode des équations intégrales.
- techniques expérimentales : principe et pratique en liaison, nouvelles expériences

Les élèves intéressés par l'option devront faire parvenir aux responsables de l'option la feuille de vœux disponible sur le site du

catalogue (ressources pédagogiques). Cette feuille devra préciser les stages choisis parmi ceux proposés par l'option, dont la liste sera disponible en ligne sur le même site à partir d'octobre et sera régulièrement mise à jour, ou ceux que les élèves auront trouvés par eux-mêmes, et qui nécessiteront une validation par les responsables de l'option.

Les élèves pourront toujours contacter l'un des responsables, pour définir avec lui le stage qui leur convient le mieux.

#### Les stages

- Berkeley University, UC San Diego, Minnesota (Etats Unis) KTH Stockholm (Suède), Tokyo University (Japan), Politecnico di Milano (Italie)
- LCPC (Paris) IFPEN (Paris, Lyon)
- Total Production (UK), Bouygues (France, Singapour), NobleDenton (UK), Ingersoll Rand (Japon)
- en France : Vinci, RFR, Colas ; Eiffage, SETEC, IOSIS, Schlumberger (Paris, Boston), Lafarge R & D (Lyon), Saint Gobain (Paris), GdFSuez (Paris)

#### Niveau requis

Un programme d'approfondissement du Département de Mécanique

#### Modalités d'évaluation

Rapport de stage et soutenance orale

Responsables

Nicolas

Triantafyllidis

Habibou

Maitournam

## MEC596

### Environnement, Terre, Océan, Atmosphère

Responsable

**Hervé Le Treut**

LMD,

École polytechnique

T. +33 (0)1 63 33 51 03  
ou 51 01

letreut@lmd.jussieu.fr

ou letreut@lmd.

polytechnique.fr

L'option propose des stages dans le domaine de la mécanique des fluides géophysiques, la dynamique de l'océan, de l'atmosphère, ou encore de la géophysique interne. De nombreux stages abordent des problèmes d'environnement, tels que la pollution, la gestion de l'eau, l'impact de la déforestation sur le climat, le changement climatique du à l'effet de serre, la gestion de l'eau et l'hydrographie, la détection de signaux sismiques et les tremblements de terre. Ces thèmes se caractérisent par leur forte interdisciplinarité. Les aspects mécaniques et physiques (parfois chimiques ou biologiques) se mêlent souvent à des questions plus appliquées, relatives aux techniques de la mesure ou à l'analyse d'observations globales ou in-situ.

*Les stages disponibles sont caractérisés par une triple diversité.*

**1. Thématique:** puisqu'il peut s'agir d'océanographie, de météorologie, d'études de processus locaux (courants côtiers, ondes de reliefs, vagues, avalanches...), d'études globales (climat du passé, prévision des climats du futurs, rôle et étude du processus El Nino, prévision des cyclones, cycle du carbone dans l'atmosphère), de géophysique interne, ou encore d'études appliquées à caractère industriel (plutôt en France).

**2. Technique:** beaucoup de sujets ont une composante numérique importante (permettant souvent une bonne initiation à des langages informatiques tels que le FORTRAN), mais certains sont de nature plus expérimentale (qu'il s'agisse

d'expériences en laboratoire, de mesures in situ, de traitement de données globales ou de mesures spatiales) et d'autres sont de nature plus théorique (théorie des écoulements turbulents, des ondes ou instabilités atmosphériques ou océaniques...).

**3. Géographique:** presque tous les pays du monde ont une recherche active dans les domaines concernés par l'option. Des stages sont donc proposés dans de nombreux pays mais aussi en France, à Paris comme en province. Les stages effectués hors d'Europe se déroulent généralement dans le monde académique (centres de recherche au sein d'universités), alors que les stages réalisés en France et en Europe sont effectués de manière indifférenciée dans le monde académique ou au sein d'entreprises privées (bureaux d'études, petites ou moyennes entreprises innovantes, grandes entreprises ayant une activité dans le monde de l'environnement).

Il est demandé aux élèves intéressés de se mettre en contact aussi rapidement que possible avec les responsables de l'option pour préciser l'orientation possible du stage.

*Voici quelques exemples d'institutions ayant encadré des stages les années précédentes:*

► Météorologie: UCLA, MIT, Université de Floride, Université McGill (Montréal), Météo Canadienne (Vancouver), Univer-

sité de Reading, Université de Hambourg  
Université McQuarie (Sydney), Météo  
Australienne (Melbourne), Université de  
Buenos-Aires, Université de Montevideo,  
Institut de Physique de l'Atmosphère de  
Beijin, Université de Tokyo, Cochin Uni-  
versity (Indes), IAP (Moscou).

*Mais aussi en France: LMD (Paris-Pa-  
laiseau), LATMOS (Paris), LAMP (Cler-  
mont-Ferrand), Météo-France (Toulouse)*

- Océanographie: Scripps Institution  
(Californie), Institut océanographique  
(Palma de Majorque), CSIRO (Hobart,  
Australie), SOC (Southampton,  
Grande-Bretagne), AWI (Bremerhaven,  
Allemagne)

*En France: LOCEAN (Paris), LEGI (Gre-  
noble), Ifremer (Brest)*

- Géophysique: IPG (Paris), Total (France),  
Observatoire Volcanologique et Sismolo-  
gique de Gouadeloupe

- Instrumentation: Université de Toronto,  
DLR (Munich, Allemagne)

*en France: LMD (Paris), le LOCEAN (Paris),  
SAUR (traitement des eaux, Paris).*

- Études théoriques: Cambridge, Oxford,  
Université de Monash, MIT, Imperial  
College (Londres),

*en France: LMD, LOCEAN ou INL (Nice).*

La quasi-totalité de ces institutions sont  
prêtes à accueillir à nouveau des stagiaires  
de l'X: la liste est indicative et non limita-  
tive.

### Modalités d'évaluation

Les étudiants sont évalués sur le document  
manuscrit rendu à l'issue du stage ainsi que  
sur leur présentation orale de leur stage.

## MEC597 Énergies

Responsables

Mécanique

**Patrick Le Tallec**

LMS,

École polytechnique

T. +33 (0)1 69 33 57 85

patrick.letallec@polytechnique.fr

Physique

**Frank Carré**

CEA Saclay

T. +33 (0)1 69 08 63 41

franck.carre@cea.fr

**Arnd Specka**

LLR,

École polytechnique

T. +33 (0)1 69 33 55 67

specka@llr.in2p3.fr

### Stages du PA Energies du 21<sup>e</sup> siècle :

L'objectif du stage est de mettre les élèves en contact avec la recherche dans le domaine de l'énergie telle qu'elle se pratique dans les laboratoires français ou étrangers de physique, d'énergétique, de mécanique, ou bien au sein d'entreprises nationales ou internationales.

L'objectif du stage est de mettre les élèves en contact avec la recherche dans le domaine de l'énergie telle qu'elle se pratique dans les laboratoires français ou étrangers de physique, d'énergétique, de mécanique, ou bien au sein d'entreprises nationales ou internationales.

De manière à pouvoir en tirer le meilleur profit, les élèves peuvent se regrouper en binômes pour effectuer ces stages. Les monômes seront également acceptés. Les responsables publient un catalogue de propositions stages et sont à votre disposition pour vous donner toutes les précisions sur chacun des sujets envisagés et les infléchir éventuellement selon vos goûts. Ils vous conseilleront également sur les sujets de stages que vous trouverez par vos propres démarches.

Compte tenu du temps de maturation nécessaire, il est important de choisir votre sujet et d'en discuter avec votre futur directeur de stage longtemps à l'avance. Il faut réfléchir au thème choisi bien avant le démarrage du stage.

*A titre indicatif, voici des domaines d'activité dans lesquels des stages ont été effectués les années précédentes :*

- les réacteurs à fission
- la fusion thermonucléaire
- les déchets
- le nucléaire de génération 4
- le photovoltaïque
- l'énergie hydraulique ou éolienne
- les énergies renouvelables
- émission et mesures de CO<sub>2</sub>
- l'économie de l'énergie
- le solaire thermique
- le stockage de l'énergie
- recherche et développement sur l'hydrogène
- perspectives des voitures électriques
- les écoulements dans les systèmes énergétiques
- les matériaux résistants aux hautes températures
- les vibrations des systèmes d'exploitation offshore.
- le dimensionnement mécanique des nouveaux systèmes de production d'énergie

La gamme des sujets proposés est fort étendue, même à l'intérieur de chaque domaine. Les sujets sont théoriques ou expérimentaux. Ils s'effectuent le plus souvent dans le cadre de laboratoires de recherche universitaires ou de laboratoires nationaux en France ou à l'étranger.

Un nombre significatif de stages se déroule néanmoins dans des entreprises de taille variable, mais ayant toutes un secteur

important de recherche et développement dans le domaine de l'énergie.

On insiste sur le caractère scientifique de ce stage. Il ne peut pas se réduire à des études de comparaison de logiciels, à des compilations technico-économiques ou à des développements de petits modèles autonomes ne se référant pas à une démarche scientifique globale.

L'option est animée par quatre enseignants que vous pouvez largement consulter et qui ont en particulier des éclairages privilégiés sur les thèmes suivants :

- Frank Carré:  
Énergie nucléaire, énergies durables,  
nouvelles technologies
- Patrick Le Tallec:  
Mécanique et matériaux pour l'énergie
- Pere Roca:  
Énergie photovoltaïque
- Arnd Specka  
Énergies fossiles, énergies alternatives,  
stockages, transports, émissions de CO<sub>2</sub>.

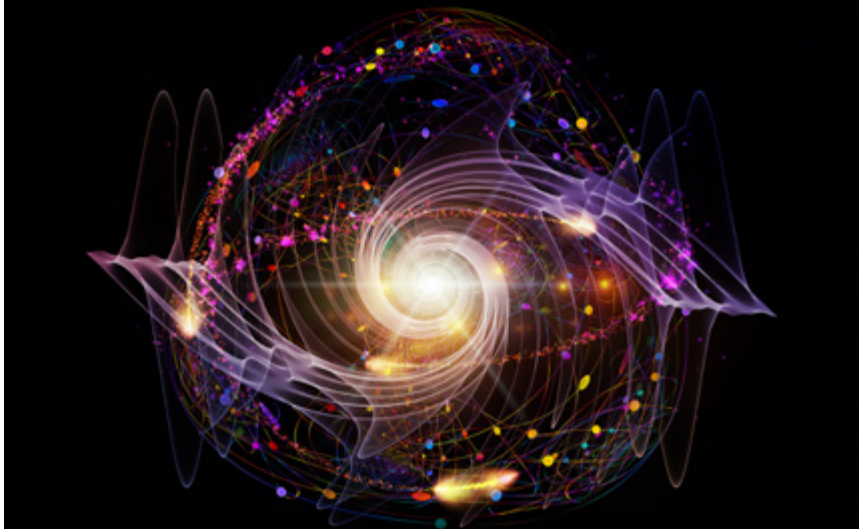
# PHYSIQUE

**Coordinateur:**

- Henri-Jean Drouhin – T. +33 (0)1 69 33 40 17  
henri-jean.drouhin@polytechnique.edu

**Assistants du département:**

- Patricia Vovard – T. +33 (0)1 69 33 40 20 – patricia.vovard@polytechnique.edu
- Nouria Gabelli – T. +33 (0)1 69 33 40 21 – nouria.gabelli@polytechnique.edu





## PHY591A

### Champs, particules et matière

Le but de ce stage de recherche, effectué à temps complet, est de mettre les élèves en contact avec la recherche fondamentale telle qu'elle se pratique dans les laboratoires de physique théorique ou de physique des particules expérimentale. Le stage s'adresse évidemment aux élèves motivés pour ce type de recherche, mais aussi à ceux qui, ayant décidé de faire tout autre chose, désirent connaître durant 4-5 mois ce qu'est la recherche fondamentale.

Il leur permettra de découvrir en quoi consiste le travail du chercheur dans ces disciplines. Selon l'orientation de la thématique du stage, théorique ou expérimentale, il est nécessaire d'avoir suivi certains enseignements suivants :

PHY430, PHY431, PHY433, PHY434, PHY553, PHY554, PHY561, PHY568, PHY575, PHY584.

#### Les sujets d'études

Les sujets de stage proposés se classent en trois catégories :

#### 1. Théorie des champs, physique statistique et physique mathématique

Christoph Kopper

En Physique, le très grand nombre de degrés de liberté à l'échelle microscopique donne lieu, aux échelles méso- ou macroscopique,

à des phénomènes quantiques ou statistiques variés qu'il s'agit de comprendre. Des progrès spectaculaires sont accomplis grâce à l'utilisation des concepts de théorie des champs et de probabilités en mécanique quantique ou statistique, et certains sujets de l'option s'y rattachent. D'autres illustrent l'application des concepts de la théorie des champs et de la physique statistique à des domaines a priori extérieurs à celle-ci, par exemple les systèmes dits complexes. Enfin, les thèmes inspirés par la biologie fournissent des sujets très intéressants pour la physique statistique.

#### 2. Physique théorique des particules et de la gravitation

Cédric Lorcé, Cédric Deffayet

Il s'agit de connaître la structure et les interactions des particules fondamentales. Une percée spectaculaire a été accomplie lorsque l'on a découvert que toutes les interactions connues (fortes, électromagnétiques, faibles et gravitationnelles) peuvent être décrites avec un même langage, celui des « théories de jauge ». Ce résultat a été brillamment confirmé par l'expérience, jusqu'à la découverte du boson de Higgs en 2012 dont il s'agit maintenant, avec le redémarrage du LHC au printemps 2015, d'étudier plus précisément les propriétés. Les sujets de recherche dans le domaine sont d'une part l'étude des prédictions précises du modèle

Responsables

**Cédric Deffayet**

*Institut d'Astrophysique de Paris*

T. +33 (0)1 57 27 60 43  
deffayet@iap.fr

**Christoph Kopper**

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 42 61  
christoph.kopper@polytechnique.edu

**Cédric Lorcé**

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 42 14  
cedric.lorce@polytechnique.edu

**Arnd Specka**

T. +33 (0)1 69 33 55 67

specka@lir.in2p3.fr

École polytechnique

standard dans ses différents domaines, et d'autre part ses possibles extensions sous forme d'une éventuelle extension supersymétrique entre bosons et fermions etc.

L'analyse des interactions fortes requiert souvent des méthodes autres que perturbatives lesquelles s'appliquent au secteur électrofaible du modèle standard. Les problèmes posés par la construction d'une théorie quantique de la gravitation ont conduit aux théories des cordes et autres objets étendus. Des problèmes provenant de la cosmologie liés par exemple à la matière et à l'énergie sombre trouvent leur reflet dans de nombreux (projets d') expériences cherchant à les mettre en évidence.

### 3. Physique expérimentale des particules Arnd Specka

De quoi est faite la matière noire dans l'univers? Quelles sont les masses des énigmatiques neutrinos? Quelle est l'origine des masses si différentes des particules élémentaires? Est-ce qu'il existe une seule particule de Higgs? Voici quatre, parmi les plus brûlantes, des nombreuses questions que se posent les physiciens des particules, théoriciens comme expérimentateurs, aujourd'hui. L'information expérimentale, qu'elle passe par la découverte de nouveaux phénomènes ou par des mesures de précision, est indispensable pour inspirer et tester la théorie. De grands programmes expérimentaux sont en cours de conception, de réalisation ou d'exploitation, par des collaborations internationales. Tous utilisent des techniques de pointe dans divers domaines, électronique rapide, informatique en temps réel, traitement des données, lasers de puissance ou physique délicate des détecteurs de particules. Un élève motivé par les grandes

questions de physique aura l'opportunité de se confronter à l'expérimentation. Il sera généralement encadré au sein d'une équipe qui lui confiera le dépouillement guidé de données issues d'expériences ou grandes simulations. Parmi les stages proposés, certains concerneront des questions d'une grande actualité: oscillations de neutrinos, recherches sur le boson de Higgs au LHC, symétries fondamentales, astrophysique des particules. D'autres stages pourront porter sur les développements des détecteurs ou l'étude des techniques d'accélération du futur.

### Déroulement du stage de recherche

Les élèves sont encouragés à se regrouper en binômes pour effectuer ces stages, de manière à pouvoir tirer le meilleur profit aussi d'échanges entre eux.

Les sujets de stage peuvent, dans les meilleurs cas, aboutir à un travail de recherche original et à une publication, ils nécessitent de toute manière une initiation préliminaire durant un temps plus ou moins long selon les sujets.

Cette acquisition de compléments à l'enseignement de l'École se fera durant le stage, mais pourra aussi selon les besoins être guidée par les responsables du stage de recherche.

Les stages auront lieu dans les laboratoires de la région parisienne, de province ou à l'étranger. Certains stages expérimentaux comportant des prises de données permettent des séjours auprès des grands accélérateurs (CERN, Japon), d'autres pourront être effectués dans des laboratoires universitaires étrangers: Allemagne, Belgique,

Canada, États-Unis, Royaume-Uni (langue de travail : anglais).

Les responsables et enseignants sont à votre disposition pour vous donner toutes précisions sur chacun des sujets proposés (style de travail, proportion entre initiation et recherche originale, etc.) et les infléchir éventuellement selon vos goûts. Ils sont également prêts à étudier la possibilité d'organiser des stages sur d'autres sujets que des élèves particulièrement motivés souhaiteraient étudier, ou des stages expérimentaux en particulier au CERN (pratique de l'anglais nécessaire).

Compte tenu du temps de maturation nécessaire pour « entrer » dans les sujets de stages proposés, il est impératif de choisir votre sujet et d'en discuter avec votre futur directeur de stage et avec le responsable d'option, suffisamment à l'avance.

*A titre indicatif, voici quelques sujets de stages proposés au cours des années précédentes :*

- Théorie de la renormalisation
- Théorie de la gravitation
- Théorie des cordes
- Supersymétrie
- Matrices aléatoires
- Physique statistique hors d'équilibre
- Equations quantiques stochastiques
- Micro-manipulation de molécule d'ADN
- Capture d'un trou noir par une étoile à neutrons
- Neutrinos cosmiques
- Matière sombre
- Désintégration des mésons et physique au-delà du modèle standard
- Le boson de Higgs
- Désintégration du boson de Higgs en deux leptons tau
- Observation d'un phénomène quantique sur 300 km : l'oscillation des neutrinos au Japon
- Photons cosmiques de très haute énergie et violation de l'invariance de Lorentz
- Test en faisceau au CERN de calorimètres super-granulaires pour un futur collisionneur linéaire e+e-
- Développer aujourd'hui les accélérateurs de particules de demain : accélération laser-plasma
- Sursauts gamma et chocs cosmiques
- Développement d'un polarimètre cosmique
- Détection de matière noire dans de l'argon liquide
- Gravité à petites échelles.

## PHY591B

### Physique des Hautes Energies

Responsables

**Stéphane Munier**

T. +33 (0)1 69 33 42 85  
stephane.munier  
polytechnique.edu

**Pascal Paganini**

T. +33 (0)1 69 33 55 62  
pascal.paganini@  
polytechnique.edu

The purpose of this internship is to familiarize the students with the research in the high energy field. It covers both experimental research and/or research in theoretical physics. The duration of the internship is typically 4 months (starting in April) but only 3 days a week are dedicated to the internship, the students enrolled in the High Energy Physics master program attending courses the 2 other days. Consequently, the location of the internship must necessarily be in the Paris-Saclay area.

#### Typical topics

1. **Topics in experimental physics:** Higgs physics at LHC, quarks-gluons plasma with Heavy ions physics at LHC and

RHIC, neutrino physics (long and short baseline in Japon, Europe), search for new particles beyond the standard model, development of new detectors or accelerators, cosmic rays physics (with spatial or ground experiments), astrophysics (structure of galaxy, black holes etc.) etc.

2. **topics in theoretical physics:** phenomenology of the standard model for current experiments (electroweak theory and Higgs physics, quantum chromodynamics), phenomenology beyond the standard model (supersymmetry, extra-dimensions, dark matter etc.), formal developments in field theory and string theory, astroparticle physics, primordial Universe etc.

## PHY592

### Astrophysique et cosmologie

Responsables

**Frédéric Daigne**

T. +33 (0)1 44 32 81 89  
daigne@iap.fr

**Roland Lehoucq**

T. +33 (0)1 69 08 72 57  
lehoucq@cea.fr

**Alain**

**Lecavelier  
des Etangs**

T. +33 (0)1 44 32 08 77  
lecaveli@iap.fr

Le stage de recherche PHY592 « Astrophysique et Cosmologie » a pour objectif de faire découvrir aux élèves la communauté scientifique qui explore notre Univers, proche ou lointain, en commençant par la terre et son environnement. Ces stages s'adressent non seulement aux élèves souhaitant entrer dans le monde de la recherche, mais également à ceux qui, par curiosité et avant de s'orienter vers une tout autre voie, aimeraient en apprendre davantage sur les sujets fascinants qui sont au cœur de ce domaine de recherche tant fondamentale qu'appliquée.

En **Astrophysique** (et **Cosmologie**), la palette des activités est extrêmement vaste : de la mise au point d'un détecteur qui sera placé sur un dispositif d'observation terrestre ou spatial, aux calculs analytiques sur papier du théoricien, en passant par l'analyse des images d'un télescope ou l'utilisation de simulations numériques.

L'élève n'aura donc pas de difficulté à choisir un profil d'activité correspondant à ses goûts personnels.

*Voici une liste, non exhaustive, de thèmes de recherche qui sont aujourd'hui particulièrement actifs :*

1. Instrumentation astronomique (développement et conception de nouveaux instruments en spectroscopie, polarimétrie, imagerie, interférométrie...);
2. Planètes extrasolaires;
3. Astéro-sismologie (étude de l'intérieur des étoiles par l'analyse de leurs vibrations de surface);
4. Objets compacts et astrophysique des hautes énergies (étoiles à neutrons et trous noirs, noyaux actifs de galaxies, disques d'accrétion et jets, ondes gravitationnelles...);
5. Milieu interstellaire et formation des étoiles;
6. Cosmologie observationnelle (formation et évolution des galaxies et amas, rayonnement cosmologique de fond, lentilles gravitationnelles...);
7. Cosmologie théorique (modèles d'inflation, nature de l'énergie noire, nature de la matière noire...);

Les stages pourront s'effectuer dans un laboratoire de la région parisienne (par exemple le laboratoire Astroparticules et Cosmologie, le Service d'Astrophysique et le Service de Physique de Particules du CEA à Saclay, l'Institut d'Astrophysique de Paris, l'Institut d'Astrophysique Spatiale à Orsay, ou les laboratoires de l'Observatoire de Paris) ou en province.

Il existe également des possibilités de stages à l'étranger, en nombre limité. Il est recommandé de prendre contact le plus tôt possible avec les responsables de PHY592 pour en discuter.

*Voici une liste, non exhaustive, de laboratoires d'astrophysique ou de cosmologie en France :*

- APC (Astroparticules et Cosmologie), Paris: [www.apc-p7.org](http://www.apc-p7.org)
- CRAL (Centre de Recherche Astronomique de Lyon), Lyon: [www-obs.univ-lyon1.fr](http://www-obs.univ-lyon1.fr)
- IAP (Institut d'Astrophysique de Paris ), Paris: [www.iap.fr](http://www.iap.fr)
- IAS (Institut d'Astrophysique Spatiale), Orsay: [www.ias.u-psud.fr](http://www.ias.u-psud.fr)
- IPht (Institut de Physique Théorique) du CEA, Saclay: [ipht.cea.fr](http://ipht.cea.fr)
- IRFU ( Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers) du CEA, saclay: [irfu.cea.fr](http://irfu.cea.fr)
- LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), Marseille: [www.lam.oamp.fr](http://www.lam.oamp.fr)
- Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble: [Ipsc.in2p3.fr](http://Ipsc.in2p3.fr)
- Observatoire de Haute-Provence: [www.obs-hp.fr](http://www.obs-hp.fr)
- Observatoire de Midi-Pyrénées: [www.obs-mip.fr](http://www.obs-mip.fr)
- Observatoire de Paris: [www.obspm.fr](http://www.obspm.fr)
- Observatoire de Strasbourg: [astro.unistra.fr](http://astro.unistra.fr)

## PHY593

### Semi-conducteurs et composants

Responsables

**Henri-Jean Drouhin**

*LSI et DAER,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 40 17

henri-jean.drouhin@polytechnique.edu

Autres enseignants

**Yvan Bonnassieux**

*LPICM,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 43 02

yvan.bonnassieux@polytechnique.edu

**Jean-Eric Wegrowe**

*LSI,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 45 55

jean-eric.wegrowe@polytechnique.edu

**Henri Jaffrès**

*Cnrs-Thalès*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 41 58 70

henri.jaffres@cnrs-thales.fr

Ce stage de recherche regroupe des thèmes de recherche – fondamentale ou finalisée – et de recherche-développement dans le domaine des « hautes technologies ». Le stagiaire pourra être intégré dans une équipe de physiciens étudiant des concepts qui préparent l'électronique du futur, ou encore être intégré dans une équipe de R & D développant des systèmes. Entre l'ingénieur et le chercheur, il existe une différence dans le positionnement vis-à-vis de la physique: pour le premier, celle-ci est un moyen plutôt qu'une fin. Mais, qu'elle soit utilisée pour ses applications ou qu'elle soit l'objet même de la recherche, il s'agit toujours bien de la même Physique: les équations de Maxwell ou les principes de la Mécanique Quantique s'écrivent sous la même forme et possèdent le même contenu dans un centre de recherche industriel ou dans un laboratoire de recherche fondamentale!

La spécificité du métier d'ingénieur de recherche ou de développement est souvent d'avoir à mener un projet, en cherchant le degré ultime de performance et d'efficacité. Il doit également savoir être pragmatique, car il travaille avec des contraintes pratiques – tout particulièrement délais et coûts – souvent serrées. Les projets industriels présentent en général un caractère pluridisciplinaire marqué, ce qui n'implique pas que chacun devienne spécialiste de tout, mais soit capable de dialoguer efficacement avec des spécialistes d'autres disciplines.

Le stage de recherche consiste en un stage en laboratoire, universitaire ou industriel. Des stages en entreprises – grandes entreprises ou startups – sont également proposés. La dimension internationale des hautes technologies amène naturellement à proposer de nombreux stages à l'étranger dans de prestigieux laboratoires. Dans tous les cas, le stagiaire participera, au sein d'une équipe, à un projet en cours. Les domaines concernés sont très variés: micro- et nano-électronique, optoélectronique, spintronique, électronique grande surface, matériaux en couches minces, nanomatériaux, matériaux magnétiques, instrumentation optique...

C'est une étape logique et incontournable pour celles et ceux qui poursuivront leur formation en « Electrical Engineering », domaine qui couvre un très large spectre dans les universités américaines.

#### Stages en France et à l'étranger

Ces stages sont ouverts aux élèves indépendamment de leur cursus à l'École. Toutefois, pour certains stages des prérequis peuvent être demandés.

Une cohérence du cursus de 3<sup>e</sup> est attendue. Ainsi les stages liés aux semi-conducteurs et à leurs applications ne sont ouverts qu'aux élèves ayant suivi le module d'enseignement « Physique des Composants Semi-conducteurs » (PHY567). Les stages dans le domaine de la spintronique (électronique de spin) sont ouverts aux élèves ayant suivi l'approfon-

dissement correspondant (EA PHY581B). En effet, une préparation préalable spécialisée – lors de l’EA les élèves travaillent sur des articles de recherche souvent en liaison directe avec leur futur stage - et une durée de stage prolongée sont indispensables pour aboutir à des résultats de niveau international. Il est fréquent que les élèves ayant suivi ce parcours publient, à l’issue de leur stage, dans des revues internationales de premier plan. De façon générale, les stages dans un pays éloigné (USA, Canada, Japon, Corée, Australie) se prolongent jusqu’à fin août. Il est fortement recommandé d’entreprendre la définition de son stage le plus tôt possible, en concertation avec les enseignants. Ces stages peuvent jouer un rôle important dans la préparation des formations de 4<sup>e</sup> année.

#### *Exemples de thèmes proposés*

- Semi-conducteurs (propriétés électroniques et optiques, élaboration)
- Micro- et nano-électronique (conception, élaboration et caractérisation des composants...)
- Optoélectronique (lasers à puits quantiques, détecteurs, composants III-V divers...)
- Spintronique (Spin transfert, Spin Hall effect, MRAMs, GMR, têtes de lectures de disques durs...)
- Electronique grande surface (écrans plats de visualisation, énergie photovoltaïque)
- Plasmonique
- Détecteurs (infrarouge, rayons X...) et capteurs
- Matériaux électroluminescents
- Couches minces à applications diverses (semi-conductrices, optiques...)
- Nanomatériaux (nanotubes de carbone, nanofils...)
- Physico-chimie des surfaces et interfaces
- Magnétisme et matériaux magnétiques
- Supraconductivité: matériaux et applications
- Métallurgie physique (dislocations, alliages...)
- Verres, polymères, cristaux liquides...
- Instrumentation optique (ellipsométrie...)
- Electronique médicale
- Electronique industrielle. Télécommunications
- Composants électroniques divers
- Traitement du signal. Traitement d’image

#### **Laboratoires d’accueil**

##### *A l’École polytechnique :*

- Laboratoire des Solides Irradiés (LSI);
- Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (PICM);
- Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (PMC).

##### *En France (exemples de laboratoires ou d’entreprises d’accueil – les possibilités sont très nombreuses):*

- Centre de Nanosciences et Nanotechnologies, C2N (<http://www.c2n.universite-paris-saclay.fr>);
- Laboratoire Pierre Aigrain (ENS - Paris);
- Laboratoire de Physique des Solides (Université Paris Sud);
- CEA (Saclay, Grenoble, Cadarache);
- ONERA (Palaiseau);
- Thales- R&T (Campus Polytechnique);
- Saint-Gobain Recherche (Aubervilliers);
- Sagem (Argenteuil, Massy);
- ST Microelectronics (Crolles).

*À l'Étranger (exemples de laboratoires ou d'entreprises d'accueil – les possibilités sont très nombreuses):*

- Australian National University (Canberra, Australia).
- EPFL (Lausanne, CH);
- Paul Drude Institute, Berlin (Germany);
- Peter Grünberg Institute, Jülich (Germany);
- Universität Stuttgart (Germany);
- Universität Würzburg (Germany);
- Universität Regensburg (Germany);
- Politecnico di Milano (Italy);
- Politecnico di Torino (Italy);
- Universities of Kyoto and Tokyo (Japan);
- IOFFE institute, Saint Petersburg (Russia);
- University of Barcelona (Spain);
- University of Cambridge (UK);
- University at Buffalo (USA);
- University of California (Los Angeles, Riverside, San Diego, and Santa Barbara, USA);
- California State University (Northridge, CA, USA);
- Harvard University (USA);
- MIT (Cambridge, MA, USA);
- Northwestern University (Chicago, USA);
- Virginia Tech (Blacksburg, USA);
- Headway Technologies, Milpitas (CA, USA);
- LAM Research (Fremont, USA);

## PHY594A

### Lasers, optique quantique, plasmas

Responsables

**Serena**

**Bastiani-Ceccotti**

Laboratoire  
d'Utilisation des  
Lasers Intenses (LULI)

T. +33 (0)1 69 33 54 04  
serena.bastiani@  
polytechnique.edu

**Marie-Claire**

**Schanne-Klein**

Laboratoire d'optique  
et biosciences (LOB)

T. +33 (0)1 69 33 50 60  
marie-claire.  
schanne-klein@  
polytechnique.edu

L'option PHY594 regroupe les thèmes de recherche qui concernent l'interaction entre la matière sous toutes ses formes (condensée ou diluée, neutre ou chargée) et le champ électromagnétique, qu'il soit statique ou de rayonnement, depuis le domaine hertzien jusqu'aux rayons X. Ce domaine est fortement marqué par les lasers, qui ont révolutionné l'optique, mais aussi par l'utilisation du rayonnement synchrotron qui a donné une nouvelle jeunesse aux accélérateurs d'électrons, ou encore par le formidable espoir suscité par la recherche sur la fusion thermonucléaire contrôlée.

Les stages proposés portent sur la plupart des applications des lasers, à l'exception de celles qui sont totalement entrées dans le monde

de la production industrielle et où le laser n'est plus qu'un outil presse-bouton (elles sont sorties du domaine de la recherche). Il s'agit donc de sujets très variés, mais dont les connexions mutuelles sont nombreuses. Les trois centres thématiques mentionnés dans l'intitulé de l'option se recouvrent en fait largement. Par exemple les plasmas sont souvent créés par des lasers et inversement les plasmas peuvent être sources d'émission laser.

La recherche en matière de lasers reste un domaine particulièrement actif: télécommunications optiques, traitement optique de l'information, refroidissement d'atomes par laser, accélération de particules par laser, développement de nouveaux lasers



(par exemple à électrons libres, à rayons X, à impulsions très brèves ou de très fortes intensités), initiation de la fusion thermonucléaire par confinement inertiel, étude de la turbulence ou du chaos, réduction du bruit de photons grâce aux états comprimés (il s'agit ici d'optique quantique au sens strict), nouvelles techniques d'imagerie d'objets biologiques...

L'option recouvre aussi la recherche en matière de plasmas sans lasers: initiation de la fusion par confinement magnétique (tokamaks), vent solaire, magnétosphère... Il est clair que ce genre de recherche couvre toute la gamme, de la physique très appliquée à la physique fondamentale.

Dans l'ensemble cette activité est un domaine bien représenté en France, et plus généralement en Europe de l'ouest. Les stages sont surtout proposés en région parisienne mais de nombreuses possibilités existent en province ou à l'étranger.

### Thèmes

- Lasers (lasers à solides, lasers à rayons X, impulsions ultra-brèves)
- Télécoms optiques (fibres optiques, dispositifs opto-électroniques...), et optique intégrée
- Matériaux non-linéaires (puits quantiques, matériaux organiques...)
- Traitement optique de l'information (calcul optique, reconnaissance de formes)
- Interface optique-biologie (pinces optiques, imagerie fonctionnelle de cellules et de tissus...)
- Spectroscopie non-linéaire (diagnostic à distance, lidar, spectroscopie active...)
- Physique atomique et moléculaire (refroidissement par laser, études de collisions réactives ou non, agrégats...)
- Optique quantique (états comprimés...)
- Plasmas créés par laser
- Fusion thermonucléaire par confinement inertiel ou magnétique
- Interaction laser-matière
- Nouvelles sources de lumière, de particules

## PHY595

### Physique de la matière condensée

Responsable

**Luca Perfetti**

*LSI,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69 33 45 56

luca.perfetti@

polytechnique.edu

Ce stage de recherche vise à faire découvrir la physique de la matière condensée moderne, qui est à la fois une source inépuisable de sujets de recherche fondamentale mais aussi qui donne lieu à d'innombrables avancées technologiques. La diversité des matériaux, la complexité des structures artificielles que l'on sait fabriquer, les conditions extrêmes auxquelles on peut les soumettre font de la matière condensée une des branches les plus vastes et les plus variées de la physique, ainsi qu'un secteur en perpétuel renouveau car en prise directe avec les dernières technologies.

Le stage de recherche consiste en un stage dans un laboratoire de pointe au sein duquel le stagiaire va se familiariser avec un domaine de la physique en pleine expansion, apprendre de nouveaux concepts, de nouvelles techniques, qu'elles soient expérimentales ou théoriques. Enfin le stagiaire pourra faire lui même l'expérience de ce qu'est la recherche, un domaine où la créativité et l'imagination sont des qualités essentielles, et sortir des sentiers battus le lot quotidien.

Les stages pourront avoir lieu en France ou à l'étranger.

#### Exemples de problématiques proposées

➤ Matériaux aux propriétés étranges, qu'il s'agit d'explorer, de comprendre et modéliser les propriétés et les mécanismes qui en sont responsables: supraconducteurs à haute température critique, échelles de spin, matériaux à magnéto-résistance

colossale, matériaux nano-structurés, auto-assemblés, etc. qui soulèvent de nombreuses questions: transitions de phase quantiques, dynamique des corrélations électroniques, fluctuations électroniques et magnétiques, etc.

➤ Nanostructures et physique mésoscopique: avec des structures artificielles aux dimensions très réduites, on entre dans un monde entre le macroscopique et le microscopique, où la mécanique quantique est reine. Transport électronique cohérent dans des molécules, des nanotubes de carbone, des couches bidimensionnelles de graphène ou de semi-conducteurs; supraconductivité et magnétisme en régime de proximité; propriétés statistiques du transport de charge ou de spin; cellules élémentaires pour l'ordinateur quantique, à bases de jonctions Josephson ou de transistors à un électron; dynamique des spins dans des nanostructures magnétiques, etc.

#### Exemples de techniques utilisées

Le stagiaire, selon son propre choix, sera confronté à quelques techniques parmi un ensemble très vaste (détection, élaboration, caractérisation): électronique ultra-bas bruit, résonance magnétique nucléaire, résonance paramagnétique électronique, microscopie optique ultra-rapide, microscopie électronique, rayons X et rayonnement synchrotron, microscopie à effet tunnel ou force atomique, spectroscopie de photons,

d'électrons ou de masse, photo-émission, nano-lithographie électronique et nano-fabrication en salle blanche, épitaxie par jets moléculaires, cryogénie, champs magnétiques intenses, hautes pressions, etc.

Les élèves ayant des inclinations plus théoriques pourront effectuer un stage de recherche sur la modélisation ou la simula-

tion de phénomènes modernes en physique de la matière condensée. Les approches théoriques utilisent des méthodes (analytiques et/ou numériques) de la physique statistique et de la mécanique quantique des systèmes ayant un grand nombre de degrés de liberté.

## PHY596

### Environnement, terre, océan, atmosphère

Responsables  
Physique

**Marc Chaussidon**

*Institut de Physique  
du Globe de Paris*

T. +33 (0)1 83957787  
chaussidon@ipgp.fr

Mécanique

**Hervé Le Treut**

*LMD,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69335103  
ou 5101

le treut@lmd.jussieu.fr  
ou le treut@lmd.  
polytechnique.fr

Co-responsable

**Albert Hertzog**

*LMD,*

*École polytechnique*

T. +33 (0)1 69335160  
albert.hertzog@lmd.  
polytechnique.fr

L'option propose des stages dans le domaine de la mécanique des fluides géophysiques, la dynamique de l'océan, de l'atmosphère, ou encore de la géophysique interne. De nombreux stages abordent des problèmes d'environnement, tels que la pollution, la gestion de l'eau, l'impact de la déforestation sur le climat, le changement climatique du à l'effet de serre, la détection de signaux sismiques et les tremblements de terre.

Ces thèmes se caractérisent par leur forte interdisciplinarité. Les aspects mécaniques et physiques (parfois chimiques ou biologiques) se mêlent souvent à des questions plus appliquées, relatives aux techniques de la mesure et à l'analyse d'observations globales ou in-situ.

*Les stages disponibles sont caractérisés par une triple diversité.*

**1. Thématique:** puisqu'il peut s'agir d'océanographie, de météorologie, d'études de processus locaux (courants côtiers, ondes de reliefs, vagues, avalanches...), d'études globales (climat du passé, prévision des climats du futurs, rôle et étude du processus El Nino, prévision des cyclones, cycle du carbone dans l'atmosphère), de géophysique interne, ou encore d'études appliqués à caractère industriel (plutôt en France).

**2. Technique:** beaucoup de sujets ont une composante numérique importante (permettant souvent une bonne initiation à des langages tels que le FORTRAN ou LINUX), mais certains sont de nature plus expérimentale (qu'il s'agisse d'expériences en laboratoire, de mesures in situ, de données globales ou de mesures spatiales) et d'autres sont de nature plus théorique (théorie des écoulements turbulents, des ondes ou instabilités atmosphériques ou océaniques...).

**3. Géographique:** presque tous les pays du monde ont une recherche active dans les domaines concernés par l'option. Des stages sont donc proposés dans de nombreux pays mais aussi en France, à Paris comme en province.

Il est donc demandé aux élèves intéressés de se mettre en contact avec les responsables de l'option pour préciser l'orientation possible du stage.

*Voici quelques exemples d'institutions ayant encadré des stages les années précédentes:*

► **Météorologie:** UCLA, MIT, Université de Floride, Université McGill (Montréal), Météo Canadienne (Vancouver), Université de Reading, Université de Hambourg Université McQuarie (Sydney), Météo Australienne (Melbourne), Université de Buenos-Aires, Université de Montevideo, Institut de Physique de l'Atmosphère de Beijing, Université de

Tokyo, Cochin University (Indes), IAP (Moscou).

*Mais aussi en France:* LMD (Paris-Palaisseau), LATMOS (Paris), LAMP (Clermont-Ferrand), Météo-France (Toulouse)

► **Océanographie:** Scripps Institution (Californie), Institut océanographique (Palma de Majorque), CSIRO (Hobart, Australie), SOC (Southampton, Grande-Bretagne), AWI (Bremerhaven, Allemagne)

*En France:* LOCEAN (Paris), LEGI (Grenoble), Ifremer (Brest)

► **Géophysique:** IPG (Paris), Total (France), Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe

► **Instrumentation:** Université de Toronto, DLR (Munich, Allemagne)

*En France:* LMD (Paris), le LOCEAN (Paris), SAUR (traitement des eaux, Paris).

► **Études théoriques:** Cambridge, Oxford, Université de Monash, MIT, Imperial College (Londres),

*En France:* LMD, LOCEAN ou INL (Nice).

La quasi-totalité de ces institutions sont prêtes à accueillir à nouveau des stagiaires de l'X: la liste est indicative et non limitative.

## PHY597

### Énergies

Responsables

Physique

**Frank Carré**

CEA Saclay

T. +33 (0)1 69 08 63 41

franck.carre@cea.fr

**Sylvain David**

Institut de Physique  
nucléaire

T. +33 (0)1 69 15 69 52

sdavid@ipno.in2p3.fr

**Pere**

**Roca i Cabarrocas**

LPICM,

École polytechnique

T. +33 (0)1 69 33 43 14

pere.roca@

polytechnique.edu

**Arnd Specka**

LLR,

École polytechnique

T. +33 (0)1 69 33 55 67

specka@llr.in2p3.fr

Mécanique

**Patrick Le Tallec**

LMS,

École polytechnique

patrick.letallec@

polytechnique.edu

T. +33 (0)1 69 33 57 85

**Stages du PA Energies du 21<sup>e</sup> siècle :**

L'objectif du stage est de mettre les élèves en contact avec la recherche dans le domaine de l'énergie telle qu'elle se pratique dans les laboratoires français ou étrangers de physique, d'énergétique, de mécanique, ou bien au sein d'entreprises nationales ou internationales.

Les responsables publient un catalogue de propositions de stages et sont à votre disposition pour vous donner toutes les précisions sur chacun des sujets envisagés et les infléchir éventuellement selon vos goûts. Ils vous conseilleront de la même façon sur les sujets de stages que vous trouverez par vos propres démarches. De manière à pouvoir en tirer le meilleur profit, les élèves peuvent également se regrouper en binômes pour effectuer ces stages.

Compte tenu du temps de maturation nécessaire, il est important de choisir votre sujet et d'en discuter avec votre futur directeur de stage longtemps à l'avance. Il faut réfléchir au thème choisi bien avant le démarrage du stage.

*A titre indicatif, voici des domaines d'activité dans lesquels des stages ont été effectués les années précédentes :*

- les réacteurs à fission
- la fusion thermonucléaire
- les déchets
- le nucléaire de génération 4
- le photovoltaïque
- l'énergie hydraulique ou éolienne

- les énergies renouvelables
- émission et mesures de CO<sub>2</sub>
- l'économie de l'énergie
- le solaire thermique
- le stockage de l'énergie
- recherche et développement sur l'hydrogène
- perspectives des voitures électriques
- les écoulements dans les systèmes énergétiques
- les matériaux résistants aux hautes températures
- les vibrations des systèmes d'exploitation offshore
- le dimensionnement mécanique des nouveaux systèmes de production d'énergie.

La gamme des sujets proposés est fort étendue, même à l'intérieur de chaque domaine. Les sujets sont théoriques ou expérimentaux. Ils s'effectuent le plus souvent dans le cadre de laboratoires de recherche universitaires ou de laboratoires nationaux en France ou à l'étranger.

Un nombre significatif de stages se déroule néanmoins dans des entreprises de taille variable, mais ayant toutes un secteur important de recherche et développement dans le domaine de l'énergie.

On insiste sur le caractère scientifique de ce stage. Il ne peut pas se réduire à des études de comparaison de logiciels, à des compilations technico-économiques ou à des développements de petits modèles autonomes ne se référant pas à une démarche scientifique globale.

L'option est animée par quatre enseignants que vous pouvez largement consulter et qui ont en particulier des éclairages privilégiés sur les thèmes suivants :

**Frank Carré, Sylvain David**

- Énergie nucléaire, énergies durables, nouvelles technologies

**Patrick Le Tallec**

- Mécanique et matériaux pour l'énergie

**Pere Roca i Cabarrocas**

- Énergie solaire photovoltaïque

**Arnd Specka**

- Énergies fossiles, énergies alternatives, stockages, transports, émissions de CO<sub>2</sub>.

