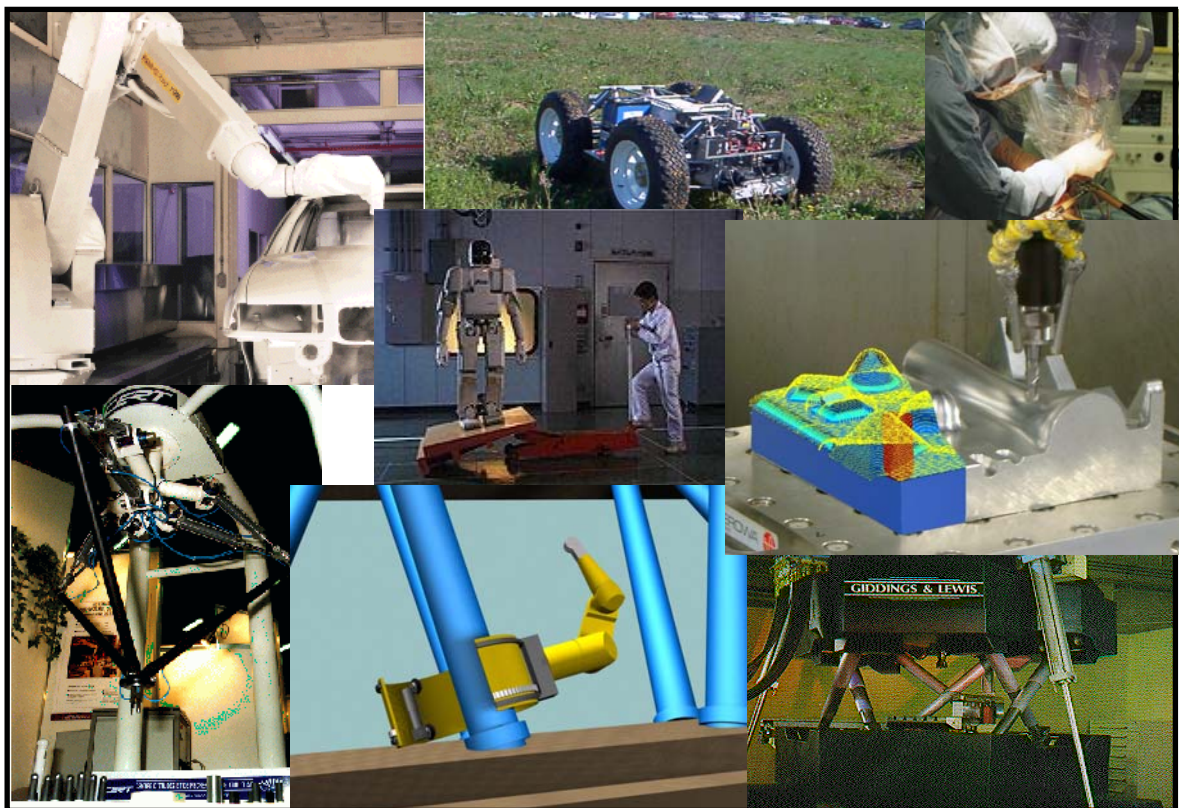


# Robotique/Productique

## Master Sciences de l'Ingénieur

Spécialité Mécanique et Ingénierie des Systèmes



Cohabitation : Université Paris 6 / ENS-Cachan / ENSAM



## Présentation de la spécialité Robotique/Productique.





(<http://www.master.sdi.upmc.fr/>)

Cette formation de seconde année du Master (M2) Sciences et Technologies de la mention Sciences de l'Ingénieur de l'Université Paris 6 /ENS-Cachan/ENSAM est l'une des orientations de la composante mécanique. Elle a vocation à former des spécialistes dans le domaine général des Machines et Systèmes Intelligents.

Elle est destinée aux étudiants possédant une formation de base en mécanique, titulaires d'une première année du second cycle universitaire d'établissements français (première année de Master) ainsi qu'aux étudiants en dernière année d'Ecoles d'Ingénieurs dans le cadre d'un bi-cursus, ou également aux étudiants titulaires d'un diplôme d'ingénieur. Elle est également offerte à des étudiants étrangers ayant reçu une formation équivalente.

Elle peut encore s'adresser aux étudiants de médecine souhaitant acquérir une formation scientifique complémentaire.

L'offre de formation est déclinée en quatre parcours-type :

-  Robotique
-  Mécatronique
-  Productique
-  Ingénierie pour la santé

correspondant à des finalités particulières en terme de débouchés. Cependant, d'autres parcours peuvent être définis sur la base des Unités d'Enseignement (UE) proposées.

Chaque parcours correspond à 10 UE dispensées durant le premier semestre du M2 : 3 UE de tronc commun, 4 UE à choisir parmi les UE de spécialisation et d'approfondissement, 1 UE Projet, 1 UE de langue et 1 UE d'insertion professionnelle. Chaque UE correspond à 3 ECTS.

Un stage en laboratoire de recherche ou en entreprise correspondant à 30 ECTS constitue l'intégralité du second semestre.

## Organisation des parcours-type

### Tronc commun :

- Dynamique des systèmes et des machines
- Commande avancée des systèmes
- Mécanique des systèmes poly-articulés

### Robotique

#### UE d'approfondissement :

- Robotique avancée
- Commande des systèmes robotiques
- Trajectographie
- Cinématique et mécanismes

#### UE d'application :

- Réalité Virtuelle
- Robotique mobile
- Micro-Robotique
- Vision par ordinateur
- Analyse et optimisation des performances

### Mécatronique

#### UE d'approfondissement :

- Physique des capteurs
- Modélisation et commande du positionnement
- Structures multi-couches
- Informatique pour la commande

#### UE d'application :

- Modélisation géométrique des systèmes poly-articulés
- Estimation et identification
- Véhicules intelligents
- Thermodynamique des milieux continus & simulation multi-physique

### Productique

#### UE d'approfondissement :

- Informatique pour la commande
- Modélisation et commande du positionnement
- Trajectographie
- CAO et Infographie

#### UE d'application:

- Procédés de coupe & découpe rapide des métaux
- Modélisation géométrique des systèmes
- Réalité Virtuelle
- Reconstruction 3D

### Ingénierie pour les SDV

#### UE d'approfondissement :

- Cinématique et mécanismes
- Biomécanique
- Neurosciences du Mouvement
- Méthodes connexionnistes et apprentissage

#### UE d'application :

- Techniques non-invasives en imagerie médicale
- Robotique médicale et chirurgicale
- Posture et Mouvement
- Reconstruction 3D

## Equipe enseignante

Les enseignements sont dispensés par des enseignants-chercheurs de l'Université Paris 6, de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris et de la Faculté de Médecine de Pitié-Salpêtrière. Ils font également appel à des chercheurs d'autres universités (UVSQ) et du Commissariat à l'Energie Atomique.

## Laboratoires de Recherche partenaires

- Laboratoire de Robotique de Paris <http://www.robot.jussieu.fr>
- Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée <http://www.lurpa.ens-cachan.fr>
- Laboratoire de Mécanique des Systèmes et des Procédés de l'ENSAM <http://www.paris.ensam.fr/>
- Le Service Cognitique, Robotique et Interaction [http://www-list.cea.fr/fr/programmes/sys\\_interactifs/sys\\_interactifs.htm](http://www-list.cea.fr/fr/programmes/sys_interactifs/sys_interactifs.htm)

## Débouchés

Les parcours-types de l'orientation « Robotique/Productique » sont à finalité : Recherche et Professionnelle. Ils permettent effectivement à la fois une insertion professionnelle en milieu industriel au niveau BAC+5 ou une poursuite en doctorat.

Le doctorat peut être effectué dans l'un des laboratoires de recherche partenaire ou l'un des laboratoires de recherche en robotique et/ou productique (voir liste :

[www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosrob/accueil/laboratoires/labo/labos.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosrob/accueil/laboratoires/labo/labos.html) )

Les entreprises recrutant des roboticiens ou producticiens présentent des profils très variés (PME et Grandes Entreprises). Les secteurs d'activités concernés sont extrêmement nombreux. Citons à titre d'exemples :

- **Industries mécaniques et mécatroniques.** Les entreprises de ce secteur sont des employeurs potentiels pour leurs activités de production, de R&D, leurs bureaux d'études et de méthodes. Sont également concernées les entreprises spécialisées dans les produits médicaux et paramédicaux (instrumentation médicale, appareillage d'assistance et rééducation).
- **Industries aérospatiale et aéronautique.** Dans ces deux secteurs, la simulation est utilisée pour concevoir les véhicules, étudier leur résistance aux contraintes extérieures, réaliser leurs aménagements intérieurs en fonction des utilisations requises, tester leur ergonomie, former les personnels qui vont travailler sur ces engins (pilotes, techniciens).
- **Industrie automobile et transport.** Les grandes entreprises de ces secteurs sont, historiquement, les moteurs de la R&D en matière de robotique et productique. Elles ont une activité importante et en fort développement autour des systèmes de production et de réalité virtuelle, pour des besoins de formation au geste professionnel (montage), d'apprentissage à la conduite de véhicules ou de procédés industriels, ou encore de prototypage virtuel (ergonomie et sécurité des véhicules et des postes de travail).
- **Construction et maintenance.** La construction et la maintenance des grands sites industriels, d'ouvrages d'art et de bâtiments exploitent de plus en plus de machines ainsi que des systèmes interactifs, pour des besoins de planification et d'optimisation des chantiers de maintenance, de simulation réaliste des opérations, de formation des opérateurs pour la préparation des chantiers, ...
- **Education et apprentissage.** Outre le secteur de formation professionnelle (simulateurs de conduite ou dispositif de formation), ceux des loisirs (entraînement sportif, systèmes ludiques, ...) et celui de l'éducation constituent un marché prometteur des systèmes robotiques.

## **DESCRIPTION SUCCINCTE DES UNITES D'ENSEIGNEMENT**

Vous pouvez retrouver le descriptif des UE sur le site (<http://lmd.upmc.fr/baf.aspx>)

### **Unités d'Enseignement de Tronc commun**

#### ***Dynamique des systèmes et des machines :***

Rappels de cinématique et dynamique du solide. Principe et théorèmes fondamentaux. Paramétrage des systèmes complexes. Paramétrage strict, paramétrage redondant, différentes conventions. Redondance. Description topologique, description fonctionnelle des systèmes. Propriétés des graphes orientés associés. Modèles cinématique vectoriel et scalaire. Points singuliers, propriétés topologiques du domaine atteignable. Modèles dynamiques : les différentes méthodes d'obtention des équations de la dynamique : Lagrange, Newton et Euler. Condition d'équivalence. Multiplicateurs de Lagrange. Modèles des actionneurs. Liens entre modèle mécanique et contrôle : exemples industriels dans l'automobile, les hélicoptères.

#### ***Commande avancée des systèmes :***

Analyse d'une structure de commande (modélisation, caractéristiques). Anticipation (boucles secondaires, asservissements secondaires). Structure RST et commande par modèle interne ou retour d'état. Commande prédictive, commande robuste et commande H infini. Acquisition des outils de description et de modélisation des systèmes multi-corps. Des études de cas et d'autres solutions de commande sont développées lors de séminaires spécifiques.

#### ***Mécanique des systèmes poly-articulés :***

Description et paramétrage des systèmes. Transformations de vecteurs, repères. Transformation de torseurs. Modèles géométriques. Méthodes de résolution analytiques et numériques. Modèles cinématiques pour des topologies séries et parallèles. Résolution des modèles inverses. Critères d'optimisation. Modèle dynamique des systèmes série en mouvements libres et contraints.

## Unités d'Enseignement d'Approfondissement

### ■ **Robotique Avancée**

Algèbre et groupe de Lie. Métrique dans  $SE(3)$ . Modèles canoniques des systèmes. Singularités statiques et cinématiques des systèmes. Contraintes liées aux liaisons unilatérales. Stabilité des contacts avec et sans frottement. Systèmes non holonomes. Passage des singularités cinématiques. Mouvements internes. Efforts internes. Définition et optimisation des mouvements internes et de la distribution des efforts. Méthode du gradient. Méthode de l'objectif secondaire.

### ■ **Commande des systèmes robotiques**

Commande des mouvements d'un robot manipulateur (capteurs proprioceptifs). Choix de l'espace de commande, influence des dynamiques, effet de l'échantillonnage, effet des frottements, effet des flexibilités. Commandes référencées sur des capteurs externes en manipulation : asservissement visuel, commande en effort.

### ■ **CAO et Infographie**

Modèles géométriques associés des maquettes numériques : B-rep, CSG, Voxels, etc. Modèles surfaciques : Nurbs, maillage ou polyédrique, etc. Modèle paramétré, modèle variationnel, modèles évolués (géométrie déclarative). Méthodes et outils de manipulation de modèles. Déformation, réduction de maillage, filtrage. Transformations isomorphes, non isomorphes. Echange et partage de données géométriques. Bases de données. Formats d'échange ; IGES, STEP... Infographie des systèmes CAO Conception par features. Reconstruction de formes à partir de nuages de points. Prototypage rapide...

### ■ ■ **Trajectographie**

Déplacement dans l'espace articulaire ou dans l'espace opérationnel en point à point et en interpolation géométrique. Choix selon les possibilités de la commande et de l'application : robot anthropomorphe, fraiseuse à 5 axes 3T2R, machine parallèle. Soudage par point, collage, découpe, usinage, etc. Influence du format d'interpolation des trajectoires et du type de déplacement (Interpolation linéaire, polynomiale, surfacique, instruction dans l'espace opérationnel ou dans l'espace articulaire) sur le comportement dynamique du couple machine/commande numérique, sur la qualité géométrique et visuelle des surfaces.

### ■ ■ **Cinématique et Mécanismes**

Formalisme vectoriel dual, propriétés, opérations associées. Théorie des mécanismes, liaisons, contraintes, mobilités, commandabilité. Elaboration des modèles géométriques et cinématiques. Analyse des particularités structurelles au cours du fonctionnement. Problèmes inverses, commande en position, en vitesse. Illustrations.

### ■ **Physique des capteurs**

**(UE commune avec la spécialité Micro/Nano Systèmes de la composante électronique)**

Structure générale, paramètres clés et interfacement Propriétés électriques des gaz, des solides et des isolants. Piézoélectricité, pyroélectricité, électrets, photoconduction, plasmas. Capteurs thermiques, capteurs de rayonnement. Thermocouples, bolomètres, ...Capteurs mécaniques solides. Position, déformation, vitesse, accélération. Capteurs inertiels.



Gyromètres laser et Doppler acoustiques. Jauges piézo-résistives, jauges à vide, vélocimètres laser. Capteurs chimiques et biologiques. Microcapteurs.

### **■ ■ *Modélisation et commande du positionnement***

Actionneurs et capteurs utilisés dans les systèmes de positionnement. Interfaçage : chaîne d'actionnement et chaîne de mesure, pilotes. Organisation des boucles de commande (correction cascade : pourquoi, comment ?). Aspects pratique de la commande numérique. Choix des périodes d'échantillonnage. Placement des capteurs. Influence des jeux, frottements, et flexibilités. Apports de la commande avancée : H infini, modes glissants.

### **■ ■ *Informatique pour la commande***

Architectures matérielles : bus industriels, PC, périphériques intelligents. Notions d'informatique temps réel. Exemple de Linux temps-réel. Interfaçage opérateur et gestion des événements asynchrones. Travaux pratiques : programmation temps-réel sous RT-Linux, mise en œuvre de l'asservissement en position d'un moteur électrique.

### **■ *Biomécanique***

Le corps humain : modélisation cinématique et dynamique. Grandeurs biomécaniques. La locomotion et l'initiation à la marche. Physiologie de la marche. Physiologie de l'équilibration. Equilibre et pathologies. Contrôles central et périphérique. Physiologie de la préhension. La préhension en pathologie neurologique.

### **■ *Neurosciences du Mouvement***

#### **(UE de la mention:Biologie Intégrative et physiologie /Spécialité : Neurosciences)**

Système moteur, anatomie fonctionnelle des fonctions motrices. Système neuro-musculo-squelettique, proprioception. Systèmes extrapyramidaux et pyramidaux. Cortex moteur. Organisation fonctionnelle des réseaux neuronaux (tronc cérébral, cervelet, cortex). Réseaux neuronaux spinaux. Plasticité des transformations sensori-motrices. Ganglions de la base : programmation-motivation-action. Physiologie du contrôle du regard et de la posture. Intégrations sensori-motrices supraspinales : Perception de l'espace, Bases neurales de la mémoire spatiale, de la navigation et des trajets, problème des référentiels. Modèles du contrôle moteur volontaire. Modèles des circuits neuronaux du contrôle moteur (cortex moteur, ganglions de la base, cervelet), Modèles « computationnels ».

### **■ *Thermodynamique des milieux continus, modélisation et simulation multiphysique*** **(UE commune avec le parcours Matériaux et Procédés de Fabrication)**

Cette unité d'enseignement a pour vocation de donner les outils de base permettant de modéliser et de simuler numériquement des problèmes multiphysiques. Parmi les applications visées, on peut citer les solides sous chargement thermomécanique, les solides poreux saturés sous chargement thermomécanique, les changements de phase liquide-solide ou solide-solide, les milieux magnétiques conducteurs.

### **■ *Vision par ordinateur***

#### **(UE Commune avec la spécialité SSIR de la composante électronique)**

Cette unité d'enseignement vise l'acquisition des connaissances de base en vision artificielle par ordinateur à travers : les éléments de géométrie projective, la modélisation des caméras, le calibrage des capteurs de vision, la géométrie de la stéréoscopie, l'appariement de scènes.

## Unités d'Enseignement d'Application

### ■ **Robotique mobile**

Cinématique des systèmes à roues (non holonome, holonome, omnidirectionnel ...). Trajectographie (Courbes de Dubins, Reeds & Sheep, Clothoïdes, ...). Commande et suivi de trajectoires (commande cinématique, commande dynamique, localisation). Robotique tout terrain (contraintes, difficultés...). Locomotion non-conventionnelle (péristaltisme, reconfiguration cinématique, modes hybrides...). Terramechanics et interaction roue-sol (performances, roue déformable, sol déformable, ...). Commande de la traction. Simulation des systèmes complexes. Systèmes modulaires et reconfigurables

### ■ **Microrobotique**

Contraintes liées à la réduction d'échelle. Les micro-actionneurs pour la micro-robotique (actionneurs piézo-électriques, électrostatiques, magnétostictifs, électromagnétiques, alliages à mémoire de forme, gels polymères). Les micro-capteurs (force, pression, position, température, biocapteurs, chimiques). Micro-techniques (lithographie, attaque chimique, LIGA). Techniques d'observation (microscopie champ proche et champ lointain). Techniques de manipulation de matière (effets physiques utilisés, instruments et outils associés). Bio-microsystèmes.

### ■ **Analyse et Optimisation des performances**

Les sources d'erreurs et de perturbation. Les grandes caractéristiques des systèmes. Précision de positionnement et de suivi de trajectoires. Répétabilité. Indices de manipulabilité cinématique, statique et dynamique. Stabilité des équilibres. Marges de stabilité. Méthodes d'optimisation : calcul des sensibilités et critères d'optimalité, optimisation mono et multi-variables, continue, sans et avec contraintes, méthode de pénalisation, méthodes déterministes, le recuit simulé, la méthode TABOU, les algorithmes génétiques et algorithmes évolutionnaires, l'optimisation multi-critères. Optimisation de formes - Optimisation en dynamique, Optimisation topologique structurale.

### ■ ■ **Modélisation géométrique des systèmes**

Etude des systèmes mécaniques avec défauts géométriques. Langage d'expression des défauts, normes ISO de cotation. Analyse fonctionnelle, expression des exigences fonctionnelles géométriques, décomposition structurelle des mécanismes, influence du processus d'assemblage et de réglage, cotation fonctionnelle, calcul d'influence de défauts : 3D pire des cas et statistique, étude et métrologie des défauts des machines-outils et des robots, influence des défauts sur les pièces usinées, analyse des dispersions et optimisation des réglages.

### ■ **Estimation et Identification**

Identification paramétrique : moindres carrés (version déterministe et version stochastique), moindres carrés récursifs. Estimation d'état de systèmes linéaires. Problèmes d'observabilité, convergence d'un estimateur, biais, efficacité, simulations de Monte Carlo. Méthodes d'estimation : en contexte déterministe (synthèse d'observateurs), en contexte stochastique (filtre de Kalman).

## ■ **Réalité Virtuelle**

Introduction à la problématique de la réalité virtuelle et concepts de base. Techniques de la téléopération - Systèmes et commande pour le couplage maître/esclave. Passivité et stabilité en mode couplé. Problèmes liés au retard et à la discrétisation. Généralités sur les interfaces comportementales en réalité virtuelle et études détaillées sur deux problématiques : la vision stéréoscopique et le retour d'effort. Modélisation géométrique et génération de mouvement. Guides virtuels. Capture du mouvement et humain virtuel.

## ■ ■ **Reconstruction 3D**

Place de la numérisation 3D dans le monde industriel. Les systèmes d'acquisition par moyens optiques. Décomposition du système de numérisation: acquisition, déplacement, recalage ou consolidation. Nettoyage ou filtrage des données. Structuration des données. Qualification du nuage de points. Partitionnement. Modèles pour la reconstruction 3D. Modèles surfaciques, polyèdres, .... Méthodes de reconstruction de formes Le partitionnement du nuage de points : méthodes par frontières ; par régions. Quelques applications Visualisation, rétro-conception, réalité virtuelle, animation.

## ■ **Robotique médicale et chirurgicale**

Contraintes des applications médicales et chirurgicales : stérilisation, sûreté de fonctionnement. Aspects légaux. Dispositifs imageurs & reconstruction de modèles anatomiques en préopératoire. Référencement et recalage peropératoire. Systèmes de guidage passifs. Systèmes actifs en chirurgie ouverte. Systèmes actifs en chirurgie laparoscopique. Utilisation d'une commande référencée capteur.

## ■ **Coupe & Découpe rapides des métaux**

**(UE commune avec le parcours Matériaux et Procédés de Fabrication)**

Modélisation et Simulation des phénomènes thermo-mécaniques impliqués dans la coupe ou la découpe. Coupe et qualité : intégrité de surface, aspects vibratoires et dimensionnels. Expérimentation : Mesures de force, mesures thermiques et approches inverses .

## ■ **Méthodes connexionnistes et apprentissage**

**(UE commune avec la spécialité Signaux Systèmes Images et Robotique de l'électronique)**

Cet enseignement a pour objectif l'étude des méthodologies d'apprentissage numériques et de fusion de données utilisant les systèmes connexionnistes. Réseaux de neurones mono et multi-couches. Réseaux bouclés. Modélisation/discrimination. Introduction à l'apprentissage non supervisé. Fusion de données par la logique floue, les méthodes bayésiennes et neuronales.

## Informations pratiques

- Pour les étudiants s'inscrivant à l'Université Paris 6, aller sur le site [www.etu.upmc.fr](http://www.etu.upmc.fr) et procéder à :
  - une pré-inscription **administrative** en ligne,
  - une pré-inscription **pédagogique** en complétant le document à télécharger lors de la pré-inscription administrative.Envoyer les dossiers au secrétariat du master :  
Véronique PRIETO  
Secrétariat M2, bureau 233, bâtiment Esclangon  
4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05  
Tél. +33(0)1 44 27 75 75  
Courriel : [veronique.prieto@upmc.fr](mailto:veronique.prieto@upmc.fr)
- Pour les étudiants s'inscrivant à l'ENS-Cachan, s'adresser à :  
Maryvonne SENECHAL  
Secrétariat du LURPA/ ENS Cachan  
61, avenue du Président Wilson 94245 CACHAN Cedex  
Courriel : [secretariat@lurpa.ens-cachan.fr](mailto:secretariat@lurpa.ens-cachan.fr)
- Pour les étudiants s'inscrivant à L'ENSAM, s'adresser à :  
Gérard COFFIGNAL  
Master Recherche  
ENSAM, 151 Bd de l'hôpital, 75013 Paris  
Tél : +33(0)1.44.24.62.86  
Courriel : [gerard.coffignal@paris.ensam.fr](mailto:gerard.coffignal@paris.ensam.fr)  
(Information générale : <http://www.paris.ensam.fr/lmsp/Master.html>)

**Nota** : Les dossiers de pré-inscription pédagogique sont aussi disponibles aux adresses suivantes :

<http://www.lurpa.ens-cachan.fr/formation.html>

[http://www.robot.jussieu.fr/lrp6/fra/master\\_docs/Fiche\\_PreInscription.doc](http://www.robot.jussieu.fr/lrp6/fra/master_docs/Fiche_PreInscription.doc)

Pour toute information complémentaire :

Philippe BIDAUD

Tél : +33(0)1 46 54 78 91

Courriel : [bidaud@robot.jussieu.fr](mailto:bidaud@robot.jussieu.fr)