

Nom : Jérémy Rouot  
 Date de naissance : 07.03.1990  
 Nationalité : Française  
 État civil : Célibataire  
 Titre : Docteur en Mathématiques  
 Adresse : Institut Supérieur de l'Electronique et du Numérique  
 20 Rue Cuirassé Bretagne, 29200 Brest  
 Email : [jeremy.rouot@tutanota.com](mailto:jeremy.rouot@tutanota.com)

#### Mots-clés

- **Analyse des systèmes hamiltoniens discontinus** : principe du maximum de Pontryaguine
- **Calculs des contrôles optimaux** : boucle ouverte, synthèse optimale
- **Méthodes numériques en contrôle optimale** : méthodes directes, méthodes indirectes, méthode globale (cadre semi-algébrique)
- **Optimisation globale polynomiale** : méthode des moments, programmation semi-définie positive.
- **Algorithmes en optimisation** : méthode de point intérieur, descente de gradient, régions de confiance, gradient conjugué, lagrangien augmenté
- **Conditions nécessaires et suffisantes d'optimalité** : théorie et implémentation numérique (équations aux variations, méthodes de tir et de continuation), cas des contrôles périodiques
- **Contrôle optimal digital** : contrôle constant par morceaux avec subdivision finie
- **Théorie géométrique du contrôle** : formes normales et synthèse optimale
- **Intégrabilité des systèmes hamiltoniens** : fonctions elliptiques
- **Observabilité** : estimation de variables, contrôle boucle fermée (Model Predictive Control)

**Applications.** *Imagerie par résonance magnétique · Nage de planctons · Transfert orbital · Stimulation musculaire optimale · Graphes réactionnels*

#### Situations Professionnelles

**2019–** Enseignant-chercheur à l'école d'ingénieur-e-s ISEN (Brest)  
 Membre associé à l'équipe INRIA MCTAO (depuis 2016) et de l'Institut de Mathématiques de Bourgogne  
**2017–2019** Enseignant-chercheur à EPF: École d'Ingénieur-e-s (Troyes).  
**2016–2017** Membre de l'équipe Méthodes et Algorithmes pour le Contrôle (LAAS-CNRS, Toulouse)  
 Travail post-doctoral sous la direction de Jean-Bernard Lasserre et Didier Henrion.

#### Diplômes

**2013–2016** Thèse à l'INRIA (Sophia Antipolis), sous la direction de Bernard Bonnard et Jean-Baptiste Pomet.  
**Sujet** : méthodes géométriques et numériques en contrôle optimal et applications au transfert orbital à poussée faible et à la nage à faible nombre de Reynolds.  
**Soutenance** à l'Université Côte-d'Azur le 28 novembre 2016.  
**Jury** : Président : Marius Tucsnak. Rapporteurs : Ugo Boscain, Emmanuel Trélat. Examinateurs : François Alouges, Piernicola Bettiol, Richard Epenoy.  
**2010–2013** Diplôme Ingénieur ENSIMAG (Grenoble). Filière Modélisation, Calcul, Simulation.  
**2008–2010** Classes Préparatoires aux Grandes Écoles, Lycée Carnot (Dijon). MPSI-MP\*

#### Implication dans les projets

**2019–** Membre d'un projet PGMO : Projet Contrôle et Stimulation Musculaire  
**2018–** Membre d'un projet PEPS (labex AMIES) : Projet Contrôle et Stimulation Musculaire  
**2017–2018** Membre du projet PGMO : Techniques algèbre-géométriques avec des applications au contrôle optimal global pour l'imagerie par résonance magnétique  
**2017** Membre du projet ERC-TAMING : <http://taming.laas.fr/>  
**2013–2016** Thèse financée par la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et par le CNES (Toulouse)

## Collaborations

- Bernard Bonnard (UBFC & INRIA)
- Jean-Baptiste Pomet (INRIA)
- Jean-Baptiste Caillaud (UCA & INRIA)
- Monique Chyba (Université d'Hawaii)
- Piernicola Bettiol (UBO)
- Jean-Bernard Lasserre (LAAS-CNRS)
- Loïc Bourdin (Université de Limoges)
- Toufik Bakir (UBFC)
- Oliver Cots (IRIT)

## 1. Compétences informatique

---

*Général* : C, C++, Fortran, Java, Caml

*Calcul numérique et formel* : Python, Julia, R, Scilab, Matlab, Mathematica, Maxima, SageMath

*Calcul parallèle* : OpenMP, MPI (C++)

*Logiciels* : HamPath, BOCOP, GloptiPoly, YALMIP, FreeFem++

*Sciences des données* : Python (Keras, Tensorflow, Pandas), R, Julia

*Réseau* : Certification Cisco : Routing and Switching

*WEB* : HTML, CSS, JavaScript, PHP

## 2. Responsabilités collectives

---

- |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018–2019 | Responsable du module Statistiques et Sciences des données de troisième année pour les trois campus de EPF: École d'Ingénieur-e-s .                                                                                                                                                                                                                   |
| Nov. 2018 | Responsable pédagogique d'un séjour pédagogique et culturel de cinq semaines pour l'accueil d'étudiants de l'université d'Amity à EPF: École d'Ingénieur-e-s .                                                                                                                                                                                        |
| 2018–2019 | Responsable d'une collaboration entre EPF: École d'Ingénieur-e-s et l'Université d'Aalto (Finlande) pour le développement de problèmes mathématiques en Sciences des Données, Analyse numérique avec le plugin Moodle Stack. Partage avec les instituts membres du projet Abacus ( <a href="https://abacus.aalto.fi/">https://abacus.aalto.fi/</a> ). |
| 2017–2019 | Responsable de la formation mathématiques à distance d'élèves pour le concours d'entrée à EPF: École d'Ingénieur-e-s .                                                                                                                                                                                                                                |
| 2017–2019 | Membre d'une cellule de bénévoles pour le développement de méthodes pédagogiques innovantes à EPF: École d'Ingénieur-e-s .                                                                                                                                                                                                                            |
| 2016–...  | Reviews pour <i>International Journal of Control, Networks and Heterogeneous Media</i> , <i>Acta Applicandae Mathematicae</i> et des revues de conférences telles que <i>Conference on Decision and Control</i> , <i>International Federation of Automatic Control</i> .                                                                              |
| 2015–2016 | Organisateur du séminaire doctorants hebdomadaire de l'École doctorale Carnot Pasteur, Institut Mathématiques de Bourgogne, 2015-2016.                                                                                                                                                                                                                |
| 2013–...  | Animateur de stands, posters pour diverses manifestations : fête de la science (2014 et 2015 à UBFC et 2018 à EPF: École d'Ingénieur-e-s , une dizaine de portes ouvertes pour EPF: École d'Ingénieur-e-s et ISEN Brest)                                                                                                                              |

## 3. Activités de recherche

---

Les planches des différents exposés sont accessibles sur ma page personnelle, dans la section "Publications" : <https://jeremyrouot.github.io/homepage/>

### Communications orales en conférences nationales ou internationales.

- |             |                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Déc. 2019.  | Conférence, 59th IEEE Conference on Decision and Control, Nice.                    |
| Juil. 2019. | Conférence, International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Valence. |
| Sep. 2018.  | Conférence, Dynamics, Control, and Geometry, Varsovie.                             |
| Sep. 2017.  | Conférence, 18th French - German - Italian Optimization, Paderborn.                |
| Juil. 2017. | Conférence, New Horizons in Optimal Control, Porto.                                |
| Juil. 2017. | Conférence, IFAC 2017 World Congress, Toulouse.                                    |
| Juin 2017.  | Congrès SMAI 2017 - 8e Biennale Française, Ronces-les-Bains.                       |

- Mars 2016. Journées SMAI-MODE 2016, ENSEEIHT, Toulouse.
- Jan. 2016. Conférence 10th International Young Researcher Workshop on Geometry, Mechanics and Control, Institut Henri Poincaré, Paris.
- Déc. 2016. Conférence 55th IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas.
- Août 2015. Conférence Nonlinear Control and Geometry, Stefan Banach Center, Będlewo.

#### Communications orales lors de séminaires et groupes de travail.

- Jan. 2020 Séminaire INRIA de l'Équipe Valse, Lille.
- Jan. 2018 Séminaire d'Équipe, EPF: École d'Ingénieur-e-s, Troyes.
- Juin 2017 Séminaire d'Équipe, Laboratoire de Mathématiques (UBO, Brest).
- Mars 2017 Séminaire Équipe Méthodes et Algorithmes de Commande (LAAS-CNRS, Toulouse).
- Sep. 2016 Rencontres Équipes INRIA McTAO - INRIA Mokaplan, INRIA-Paris, Paris.
- Déc. 2015 Séminaire Doctorants, IRMA, Strasbourg.
- Oct. 2015 Séminaire Doctorants, Mathematisches Institut-Universität Basel.
- Mai 2015 16ièmes Journées de l'École Doctorale Carnot-Pasteur, Université de Bourgogne Franche-Comté.
- Déc. 2014 Séminaire Doctorants, Institut de Mathématiques de Bourgogne, Dijon.
- Mai. 2014 Séminaire Doctorants, Institut de Mathématiques de Bourgogne, Dijon.

#### Diffusion de l'information scientifique

- Journée de vulgarisation scientifique à EPF: École d'Ingénieur-e-s : "Opération Essai", 2019.
- Fête de la Science 2018, EPF: École d'Ingénieur-e-s.
- Journées Portes Ouvertes EPF: École d'Ingénieur-e-s en 2017, 2018 et 2019.
- Journées Portes Ouvertes Université de Bourgogne en 2014 et 2015, Dijon.
- Fête de la Science "Matière et Lumière" 2014, Dijon.

## 4. Synthèse des travaux de recherche

Durant ma thèse, j'ai établi des méthodes algébro-géométriques générales pour développer des algorithmes de calculs (formels et numériques) pour le contrôle optimal en vue de résoudre des applications non académiques : le problème de nage de planctons, de saturation de spins pour l'imagerie par résonance magnétique et de transfert orbital à poussée faible. Ces problèmes étudiés sont modélisés par un **système de contrôle en dimension finie**. Typiquement, pour les problèmes standard (contrôles permanents), la pierre angulaire est le *principe du maximum de Pontryaguine* qui donne des conditions nécessaires d'optimalité formant un système extrémal composé d'un système dynamique Hamiltonien et de conditions de transversalité.

La résolution (analytique ou numérique) de ce système extrémal est difficile pour les applications considérées. Le lien entre les applications étudiées est renforcé par la méthode mise en œuvre pour résoudre ce système extrémal : **déterminer des modèles simplifiés** (via des *formes normales* en géométrie sous-Riemannienne ou des techniques de moyennisation pour les systèmes périodiques). L'étude mathématique de ces systèmes est alors plus simple et renseigne des propriétés du système initial.

Plusieurs méthodes numériques cruciales ont été développées, parmi lesquelles des **méthodes indirectes** qui résolvent le problème aux deux bouts, sous-jacent au système extrémal, avec un algorithme de type Newton. Ces méthodes, sensibles à l'initialisation, ont été complémentées par des **méthodes directes** (non basées sur le principe du maximum de Pontryaguine), des **méthodes de continuation** et des **méthodes globales**. Aussi, je me suis intéressé aux **conditions nécessaires d'optimalité du second ordre** consistant à calculer le *lieu conjugué*, c'est à dire le lieu où les trajectoires perdent leur optimalité locale, et aux **conditions suffisantes d'optimalité du second ordre dans le cas des systèmes périodiques** où les minimiseurs ne sont pas uniques. L'étude de ces conditions a été cruciale pour le problème de nage (voir [5]).

Ces méthodes pour le problème de nage de planctons et de saturation pour l'imagerie par résonance magnétique ont fait l'objet d'un ouvrage [5].

Lors de mon post-doctorat (LAAS-CNRS), j'ai fait le lien, pour des systèmes de contrôle semi-algébriques, entre ces méthodes locales et des méthodes globales basées sur une reformulation du problème de contrôle optimal comme un problème de programmation linéaire sur les mesures résolu numériquement par une hiérarchie de problèmes d'**optimisation semi-définie positive**. Cette hiérarchie permet de calculer une **approximation de l'extremum global** et donc de valider les calculs obtenus par les méthodes locales (directe et indirecte). Il existe de nombreuses variantes de ces méthodes et j'ai implémenté deux de ces méthodes

globales pour le problème de saturation de spins en contrôle optimal [5].

Aussi, je me suis intéressé au problème de contrôle optimal inverse dans le contexte semi-algébrique. Le but est de construire un coût lagrangien à partir d'un ensemble de trajectoires optimales données. L'équation de Hamilton-Jacobi-Bellman est utilisée comme un certificat de sous-optimalité de ces trajectoires. Puis, j'ai conçu un algorithme basé sur la **méthode des moments** pour calculer un lagrangien polynomial associé à un jeu de trajectoires optimales données [5].

À EPF: École d'Ingénieur-e-s, je me suis intéressé au contrôle des impulsions électriques pour l'excitation musculaire. Dans ce problème, le **contrôle est une fonction constante par morceaux sur une subdivision finie**. Le principe du maximum de Pontryaguine ne s'applique pas. J'ai utilisé les conditions nécessaires d'optimalité du premier ordre spécifiques pour calculer les **contrôles optimaux avec une méthode numérique indirecte** (qui a été comparée avec des méthodes directes). Ces conditions prennent la forme d'un système d'*inégalités différentielles variationnelles* que j'ai résolu avec un algorithme de points intérieurs [5,5]. J'ai utilisé des algorithmes de commande prédictive basés sur un **observateur non linéaire** pour calculer les **contrôles sous-optimaux en boucle fermée**. Cette étude a permis une collaboration entre Segula Technologies et UBFC sous l'impulsion de T. Bakir.

Récemment, avec B. Bonnard, je m'intéresse à l'**optimisation d'une classe de graphes réactionnels en contrôlant la température**. Ce graphe a été introduit par Feinberg–Horn–Jackson et la modélisation dynamique sur le graphe est donnée par les lois d'action de masse où d'importants travaux ont permis de montrer des relations entre la **topologie du graphe et la dynamique associée** (Feinberg, 1972; Horn and Jackson, 1972). Des travaux antérieurs en contrôle optimal, sur des graphes réactionnels plus simples, ont montré qu'expérimentalement, l'optimisation de la température permettait un gain de 15% (Bonnard and Launay, 1998). Le graphe réactionnel de McKeithan considéré dans nos travaux est pertinent pour des applications industrielles et qui donne lieu à des publications intéressantes [5,5]. J'ai utilisé la théorie des singularités pour calculer la **synthèse optimale** (locale) pour ce graphe. Pour cela, j'ai **automatisé le calcul formel** des formes normales, de la *surface singulière*, des *lieux de commutations*, des *lieux conjugués* et des *lieux de coupures* avec un programme Mathematica présenté dans [5], ce qui permet de déduire les **contrôles optimaux (locaux) en boucle fermée**. D'un point de vue général, notre but est d'étudier les singularités de la fonction valeur en vue de résoudre l'**équation de Hamilton-Jacobi-Bellman** (méthode indirecte et homotopique).

## 5. Publications et pré-publications

Les preprints des travaux référencés dans cette section sont disponibles à partir de ma page personnelle

<https://jeremyrouot.github.io/homepage/>

### Monographie

- B. Bonnard, M. Chyba, J. Rouot, *Geometric and Numerical Optimal Control with Application to Swimming at Low Reynolds Number and Medical Resonance Imaging*, Springer International Publishing, XIV-108, SpringerBriefs in Mathematics (2018).

### Articles acceptés dans des journaux avec comité de lecture

- T. Bakir, B. Bonnard, L. Bourdin, J. Rouot, *Pontryagin-Type Conditions for Optimal Muscular Force Response to Functional Electric Stimulations*, J. Optim. Theory Appl., **184** 2, (2020), pp.581–602.
- B. Bonnard, O. Cots, J. Rouot, T. Verron, *Time minimal saturation of a pair of spins and application in magnetic resonance imaging*, Math. Control Relat. Fields, **10** 1, (2020), pp.47–88.
- T. Bakir, B. Bonnard, J. Rouot, *Geometric Optimal Control Techniques to Optimize the Production of Chemical Reactors using Temperature Control*, Annu. Rev. Control, Elsevier, **48** (2019), pp.178–192.
- T. Bakir, B. Bonnard, J. Rouot, *A case study of optimal input-output system with sampled-data control : Ding et al. force and fatigue muscular control model*, Networks and Heterogeneous Media, AIMS-American Institute of Mathematical Sciences, **14** 1 (2019) pp.79–100.
- P. Bettiol, B. Bonnard, A. Nolot, J. Rouot, *Sub-Riemannian geometry and swimming at low Reynolds number : the Copepod case*, ESAIM : COCV, EDP Sciences, **25** 9 (2019), 30 pages.
- B. Bonnard, M. Chyba, J. Rouot, D. Takagi, *Sub-Riemannian geometry, Hamiltonian dynamics, microswimmers, Copepod nauplii and Copepod robot*, Pac. J. Math. Ind. **10** 2 (2018), 42 pages.
- P. Bettiol, B. Bonnard, J. Rouot, *Optimal strokes at low Reynolds number : a geometric and numerical study of Copepod and Purcell swimmers*, SIAM J. Control Optim., **56** 3, (2018) pp. 1794–1822.
- P. Bettiol, B. Bonnard, L. Giraldi, P. Martinon, J. Rouot, *The three links Purcell swimmer and some geometric problems related to periodic optimal controls*, Variational methods in Imaging and geometric

control, Radon Series on Computational and Applied Math, **18**, de Gruyter (2017), 27 pages.

#### Articles acceptés dans des livres avec comité de lecture

- B. Bonnard, H. Henninger, J. Rouot. *Lunar perturbation of the metric associated to the averaged orbital transfer*. Analysis and geometry in control theory and its applications, conférence en juin 2014, actes publiés dans Springer InDam series, **11** (2015), 18 pages.

#### Articles acceptés de conférence avec comité de lecture

- T. Bakir, B. Bonnard, J. Rouot, *Connection between singular arcs in optimal control using bridges. Physical occurrence and Mathematical model*. In Proceedings of the 58th Conference on Decision and Control (2019), 6 pages.
- J.-B. Caillaud, L. Dell'Elce, J.-B. Pomet, J. Rouot. *Optimal control of slow-fast mechanical systems*. Proceedings of the Complex Systems Academy of Excellence, Nice (2018) pp.105–116.
- J.-B. Lasserre, J. Rouot. *On inverse optimal control via polynomial optimization*. In Proceedings of the 56th IEEE Conference on Decision and Control, (2017) pp.721–726.
- P. Bettiol, B. Bonnard, A. Nolot, J. Rouot. *Optimal control theory and the efficiency of the swimming mechanism of the Copepod Zooplankton*. In Proceedings of the 20th IFAC World Congress, Toulouse (2017), 6 pages.
- B. Bonnard, M. Chyba, J. Rouot, D. Takagi. *A Numerical Approach to the Optimal Control and Efficiency of the Copepod Swimmer*. In Proceedings of the 55th "IEEE Conference on Decision and Control", Las Vegas (2016), 6 pages.
- B. Bonnard, A. Jacquemard, J. Rouot. *Optimal Control of an Ensemble of Bloch Equations with Applications in MRI*. In Proceedings of the 55th "IEEE Conference on Decision and Control", Las Vegas (2016), 6 pages.

#### Articles soumis

- Towards Geometric Time Minimal Control without Legendre Condition and with Multiple Singular Extremals for Chemical Networks, (2020), 34 pages (avec B. Bonnard) id-hal : hal-02431684
- Direct and Indirect Methods to Optimize the Muscular Force Response to a Pulse Train of Electrical Stimulation, (2020), 12 pages (avec T. Bakir, B. Bonnard et L. Bourdin) id-hal : hal-02053566

## Références additionnelles

Bonnard, B. and G. Launay

1998. Time minimal control of batch reactors. *ESAIM : Control, Optimisation and Calculus of Variations*, **3** :407–467.

Feinberg, M.

1972. On chemical kinetics of a certain class. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, **46**(1) :1–41.

Horn, F. and R. Jackson

1972. General mass action kinetics. *Archive for rational mechanics and analysis*, **47**(2) :81–116.