

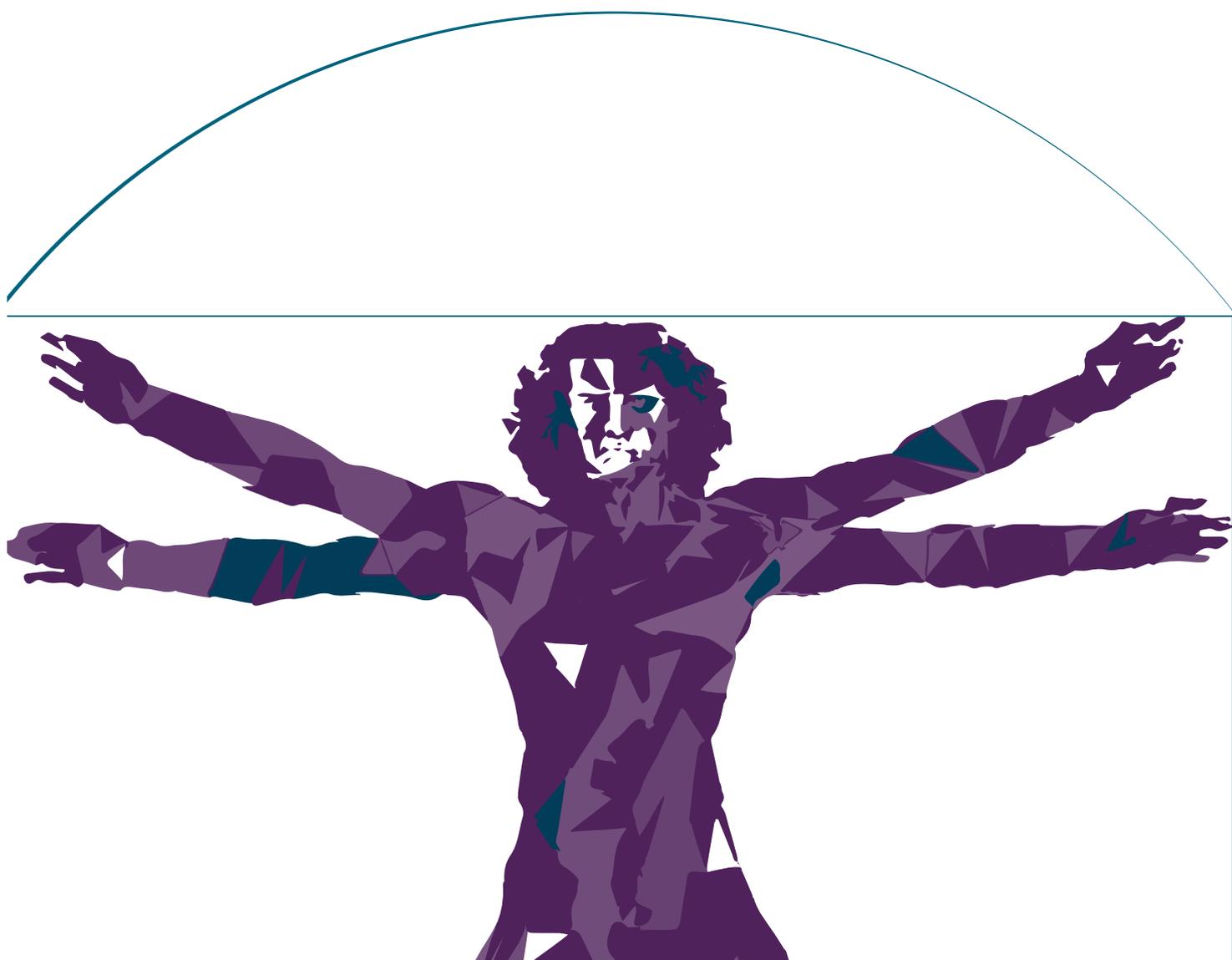


LES JEUDIS DE LA RECHERCHE  
*de l'École polytechnique*



« À LA CROISÉE DE LA PHYSIQUE  
ET DE LA SANTÉ »

JEUDI 14 JUIN 2018 - DE 9H00 À 10H30



---

# La recherche à l'X

L'École polytechnique s'appuie sur un centre de recherche de pointe qui rassemble 22 laboratoires, dont 21 unités mixtes de recherche avec le CNRS.

## Un centre de recherche dynamique et reconnu

Regroupant 480 chercheurs et enseignants chercheurs permanents, 570 doctorants et post-doctorants, le centre de recherche de l'X allie l'approfondissement des aspects les plus fondamentaux de la recherche pour le progrès des connaissances, au développement de grands domaines plus appliqués qui répondront aux enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux du XXI<sup>e</sup> siècle.

## Une stratégie de recherche organisée autour de huit thématiques

L'École polytechnique a défini huit thématiques dans sa stratégie de recherche. Ces grands domaines de recherche répondent à des enjeux sociétaux et technologiques par le biais de projets transverses et interdisciplinaires, auxquels sont associés les laboratoires de l'École :

- *Bio-ingénierie, biologie et santé*
- *Concepts et méthodes pour la société numérique*
- *Énergies, transports et environnement*
- *Marchés, innovation et relations science et société*
- *Matière et lumière en conditions extrêmes*
- *Modélisation et optimisation des systèmes complexes*
- *Nanosciences, matériaux innovants et procédés efficaces*
- *Structures et lois universelles*

---

# L'X à la croisée des sciences

Cette année, *les Jeudis de la recherche de l'X* vous proposent de découvrir une particularité essentielle de notre centre de recherche : l'interdisciplinarité.

Si la recherche scientifique est restée longtemps multidisciplinaire, la complexification des avancées de la recherche au cours du siècle dernier a engendré une hyperspécialisation qui a permis d'approfondir les connaissances dans chaque domaine. Aujourd'hui, pour franchir un nouveau pas dans la construction du savoir, les chercheurs de différentes disciplines croisent leurs regards pour enrichir leurs pratiques par de nouvelles compétences.

Source d'originalité et d'innovation, l'interdisciplinarité permet aux chercheurs de faire des découvertes inédites et d'aller plus loin dans la compréhension du monde et dans la conception de nouvelles technologies.

# « À la croisée de la physique et de la santé »

La médecine a considérablement évolué au cours du siècle dernier grâce à l'utilisation de technologies issues des laboratoires de physique. De la découverte des rayons X qui a fait émerger la radiologie, à la supraconductivité utilisée aujourd'hui dans la plupart des IRM, c'est dans un premier temps l'imagerie médicale qui a radicalement transformé les méthodes de diagnostic.

D'autres découvertes ont permis d'améliorer les traitements des patients, comme l'arrivée du laser, une révolution aussi bien en chirurgie pour l'œil ou pour l'ablation de tumeurs, que par son utilisation au cœur des imprimantes 3D permettant notamment de réaliser des implants et des prothèses sur mesure avec des propriétés mécaniques incomparables.

À l'École polytechnique, des chercheurs issus des différents laboratoires de physique s'intéressent aux applications médicales afin de développer des outils techniques ou virtuels innovants qui contribueront à améliorer notre santé dans un futur proche.

Aujourd'hui, nous vous proposons de découvrir les travaux de trois chercheurs du Centre de recherche de l'École polytechnique :

Marc Verderi, directeur de recherche CNRS au Laboratoire Leprince-Ringuet, vous présentera ses travaux utilisant les savoir-faire de la physique des particules appliqués au diagnostic des faisceaux de protonthérapie.

Antoine Rousseau, directeur de recherche CNRS au Laboratoire de physique des plasmas exposera une nouvelle méthode de germination des plantes à l'aide de plasma qui pourrait remplacer l'usage de produits chimiques nocifs.

Martin Genet, maître de conférences à l'École polytechnique et chercheur au Laboratoire de mécanique des solides vous présentera le projet M3DISIM et ses travaux autour de la modélisation de la mécanique du cœur.

Nous espérons que ces travaux mêlant recherche fondamentale et technologies de pointe vous permettront de découvrir de nouvelles avancées scientifiques à la frontière de la physique et de la santé grâce aux scientifiques de notre centre de recherche, véritable moteur de l'École polytechnique.

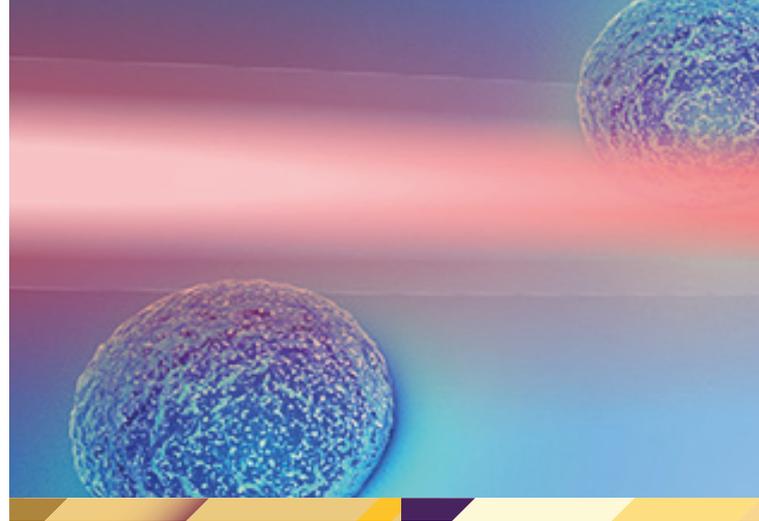
**FRANK PACARD,**

*Directeur de l'enseignement et de la recherche*



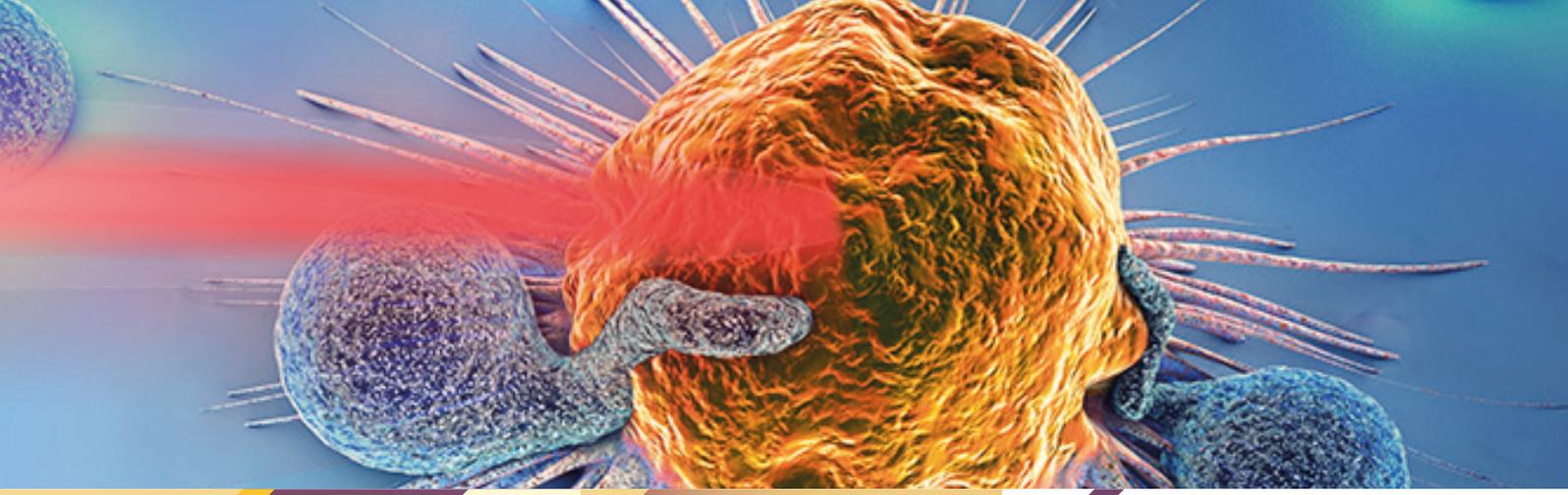
# Marc Verderi

DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS  
AU LABORATOIRE LEPRINCE-RINGUET



**MARC VERDERI** est Directeur de recherche CNRS au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR - une UMR de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS). Depuis 1996, il travaille sur une série internationale de logiciels, *Geant4*, dont il est le porte-parole adjoint au sein d'une collaboration à laquelle contribuent notamment des membres de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), ou encore du Centre de l'accélérateur linéaire du Stanford (SLAC). Ce logiciel de référence en physique des particules sert à simuler le transport de particules ionisantes dans la matière et est utilisé dans le domaine de la physique nucléaire et dans celui du spatial, mais aussi pour la sécurité intérieure ou encore le secteur médical.

Depuis 2012, Marc Verderi est également responsable de l'activité biomédicale au LLR avec le projet de moniteur de faisceau ultramince pour la protonthérapie. Ce projet baptisé PEPITES est soutenu par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et par le laboratoire d'excellence Physique des 2 infinis et des origines (Labex P2IO).



## La physique des particules pour mieux viser les tumeurs

La médecine nucléaire développe des méthodes d'imagerie et de thérapie qui utilisent des savoir-faire issus de la physique des particules, un domaine de recherche fondamentale développé depuis la fin du XIXe siècle. Marc Verderi, directeur de recherche CNRS au Laboratoire Leprince Ringuet, travaille à la frontière entre ces deux disciplines.

La physique des particules a pour objet l'identification et l'étude des constituants fondamentaux de la matière et de leurs interactions. Pour étudier ces particules élémentaires, très instables, il est nécessaire de les créer en provoquant des collisions entre particules ordinaires (protons, ions, électrons, etc.).

Ces chocs sont rendus possibles grâce à de très grands instruments, appelés accélérateurs, qui augmentent la vitesse des particules et les transportent jusqu'au point de collision. De nouveaux constituants sont alors créés, avant de se désintégrer rapidement en d'autres particules plus stables. Placés autour du point d'impact, de grands détecteurs « imagent » la collision : ils analysent tout ce qui provient de cette rencontre, en utilisant les connaissances sur les interactions de particules dans la matière. Les scientifiques sont alors capables de reconstruire le film à l'envers, depuis les particules captées jusqu'à l'objet initial. C'est ainsi qu'a été mis en évidence expérimentalement le boson de Higgs au « *Large Hadron Collider* » du CERN en 2012.

La médecine nucléaire travaille à plus basse énergie et avec des instruments de dimension plus réduite que pour la physique des particules, mais elle exploite les mêmes principes d'accélération, d'interaction particule-matière et de reconstruction afin, par exemple, d'imager ou de soigner des tumeurs. Les plus grandes similitudes entre ces deux domaines se retrouvent ainsi en protonthérapie, une méthode de traitement du cancer par irradiation qui utilise des faisceaux de protons.

La protonthérapie est indiquée dans les cas de certains cancers résistants aux traitements conventionnels, de cancers inopérables ou de cancers pédiatriques. Comparée à la radiothérapie classique, cette technologie permet de délivrer les doses d'irradiation de façon plus précise dans la tumeur, tout en préservant davantage les tissus sains environnants.

Pour réussir à bien cibler la tumeur et ainsi maîtriser la dose fournie par le faisceau, il est nécessaire de le mesurer précisément à l'aide d'un moniteur sur lequel travaille Marc Verderi. Ce détecteur doit être aussi mince que possible – de l'ordre d'une fraction de cheveu – pour ne pas perturber le faisceau, et il doit résister aux dégradations créées par le passage des protons. Alors que les systèmes actuels peinent à répondre aux spécificités en constante évolution de ces faisceaux, les travaux du chercheur se révèlent prometteurs pour une utilisation médicale prochaine. Un bel exemple de réalisation interdisciplinaire, mêlant physique des particules, méthodes de couches minces et application médicale.



# Antoine Rousseau

DIRECTEUR DE RECHERCHE CNRS  
AU LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES PLASMAS

---



**ANTOINE ROUSSEAU** est directeur de recherche au CNRS et chercheur au Laboratoire de physique des plasmas (LPP - une UMR de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS, Sorbonne Université, l'Université Paris-Sud et l'Observatoire de Paris). Il a dirigé ce laboratoire de 2008 à 2012. Antoine Rousseau travaille sur l'utilisation des plasmas froids pour la purification de l'air intérieur depuis 20 ans et a, à ce titre, coordonné le réseau français CATAPLASME (2002-2009). Depuis 2011, il a entamé un programme de recherche sur les applications des plasmas froids à la biologie et à la médecine et il a été le responsable scientifique du programme PLASMAMED du CNRS.

Antoine Rousseau a reçu le prix « *William Crooks* » en 2012, remis conjointement par la Société européenne de physique (EPS) et la revue *Plasma Sources Science and Technology*.



## Les plasmas froids, vers moins de chimie pour l'agriculture

Antoine Rousseau, directeur de recherche au Laboratoire de physique des plasmas (LPP), travaille sur les plasmas froids et leurs diverses applications biologiques.

Un plasma est un état de la matière : un mélange désordonné d'ions et d'électrons qui émet de la lumière. Le soleil ou un éclair orageux sont des plasmas chauds, mais il existe également des plasmas froids : ils s'obtiennent en appliquant un courant électrique à un gaz, ce qui crée des espèces chimiques réactives, les radicaux, mais aussi des ions et des photons. Utilisés dans diverses applications - à commencer par les écrans du même nom - les plasmas froids, du fait de leur température proche de la température ambiante, n'ont pas tardé à intéresser les domaines de la biologie végétale et animale.

Ces dix dernières années ont ainsi vu l'émergence de multiples avancées notamment en dermatologie, en hématologie, en chirurgie dentaire et dans le traitement de certains cancers. En ce qui concerne le volet médical, l'équipe de recherche d'Antoine Rousseau a mis au point à l'École polytechnique des dispositifs à plasma pour la réduction de tumeurs cancéreuses et pour la dermatologie. Le champ des recherches d'Antoine Rousseau s'est récemment élargi à l'agriculture, un domaine qui offre des perspectives intéressantes pour notre santé.

En effet, au contact de l'eau ou de milieux aqueux, les plasmas froids créent, dans la phase liquide, de nombreuses espèces réactives dérivées de l'oxygène et de l'azote qui agissent à plusieurs niveaux dans la biologie végétale et pourraient potentiellement remplacer des engrais et produits chimiques dangereux pour l'environnement :

ces espèces sont susceptibles d'être impliquées dans l'accélération et l'amélioration des processus de germination, ainsi que dans l'augmentation de la croissance des plantes. Elles présentent également une action bactéricide et fongicide.

En collaboration avec l'Inra, Antoine Rousseau s'est donc intéressé plus spécifiquement à la germination qui se manifeste par la levée de la « dormance » d'une graine. Ce phénomène de vie au ralenti, qui peut être assimilé à l'hibernation des graines pendant l'hiver, implique une série complexe d'hormones végétales. En plaçant des graines dans de l'eau, et en les exposant à un dispositif à plasma froid spécifique, les chercheurs sont capables de créer, au contact des graines, des espèces réactives à base d'oxygène et d'azote. L'équipe du chercheur a ainsi montré qu'il était possible de favoriser et d'accélérer la germination grâce aux plasmas. A noter, l'effet positif n'est cependant observé que si le plasma froid est appliqué en tout début de processus de germination.

L'ambition de ces recherches est d'une part de comprendre les mécanismes impliqués dans l'interaction plasma-graine, et d'autre part de développer un procédé pour accroître la vitesse et les rendements de germination de graines. Ceci permettrait de cultiver et de commercialiser une plus large palette d'espèces, pénalisées à l'heure actuelle par des taux de germination trop faibles.



# Martin Genet

MAÎTRE DE CONFÉRENCE À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
ET CHERCHEUR AU LABORATOIRE DE MÉCANIQUE  
DES SOLIDES

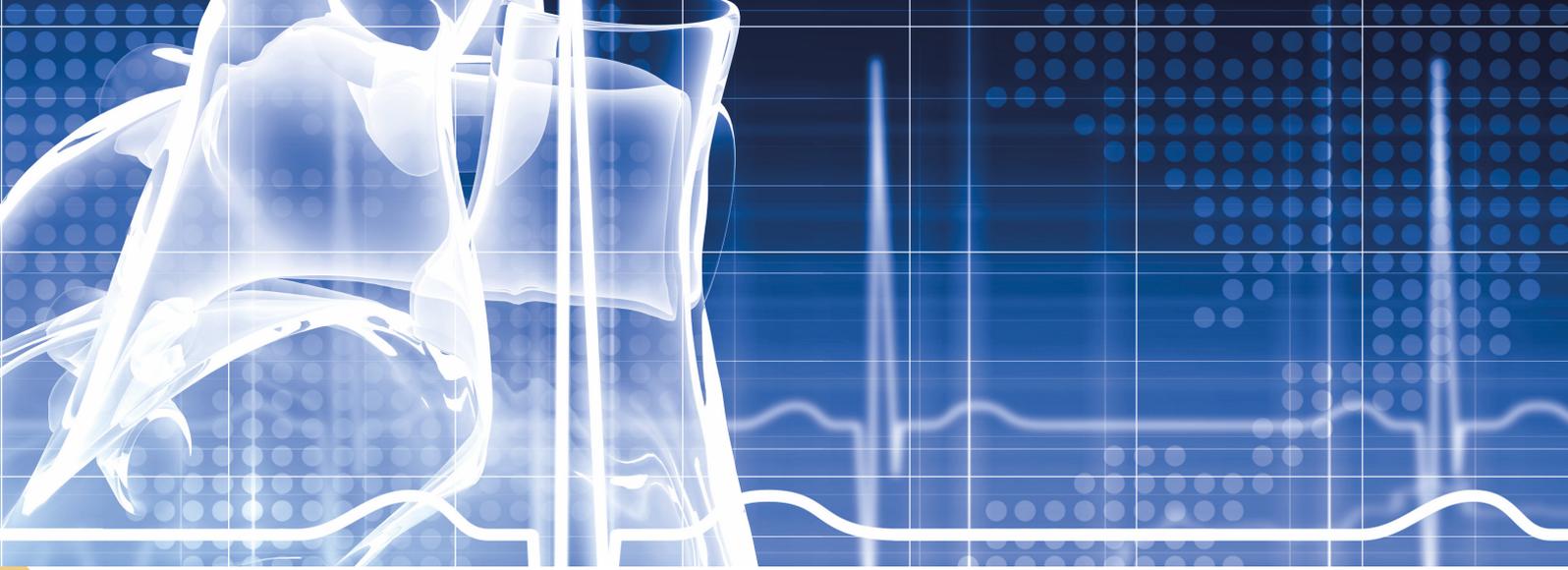
---



**MARTIN GENET** est Maître de conférences au Laboratoire de mécanique des solides (LMS, une UMR de l'École polytechnique en cotutelle avec le CNRS et Mines ParisTech).

Ancien élève de l'École normale supérieure de Cachan, il a débuté sa carrière sur la modélisation de matériaux à base de céramique, avant de s'orienter vers la modélisation cardiaque lors d'un post-doctorat à l'Université de Californie de San Francisco (UCSF). En 2015, il a intégré M3DISIM (*Mathematical and Mechanical Modeling with Data Interaction in Simulations for Medicine*), une équipe de recherche conjointe entre le LMS et l'Inria.

Ses travaux de modélisation portent sur l'amélioration de la compréhension des tissus vivants, notamment les aspects biomécaniques et mécano-biologiques, avec pour ambition d'utiliser les lois fondamentales de la physique et la puissance des outils de simulation et d'imagerie modernes pour améliorer la cardiologie.



## La mécanique du coeur, modélisation du muscle cardiaque

Le cœur est un organe vital qui assure la circulation du sang dans notre organisme. Son étude est d'autant plus importante que les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité en Europe (40%) et dans le monde (30%). Il est essentiel de développer des outils de diagnostic et de traitement plus fiables et plus efficaces, qui s'appuieront nécessairement sur une meilleure compréhension de son fonctionnement mécanique.

Les tissus vivants sont bien plus complexes que les matériaux synthétiques les plus modernes, avec une multitude de constituants, et des mécanismes biologiques qui s'y déroulent à un grand nombre d'échelles spatiales et temporelles différentes. Aujourd'hui, la façon dont cette immense complexité engendre les propriétés macroscopiques des tissus reste encore méconnue. Pour améliorer notre compréhension du vivant, les modèles multi-échelles et multi-physiques sont alors indispensables, en complément de l'analyse expérimentale.

Martin Genet travaille au sein de l'équipe de recherche M3DISIM qui allie les compétences du Laboratoire de mécanique des solides (École polytechnique, CNRS et Mines ParisTech) à celles de l'Inria (Institut national de recherche en informatique et en automatique). Leur objectif est de proposer de nouveaux outils mathématiques et numériques pour la modélisation mécanique des tissus et des organes, en particulier du système cardiovasculaire.

Les travaux de M3DISIM sur la modélisation du cœur à l'échelle temporelle du battement cardiaque font déjà référence dans la communauté scientifique internationale. Martin Genet a apporté son expertise dans la modélisation du remodelage (changement de masse ou de propriétés) des tissus, qui s'étale sur des jours, voire des mois ou des années.

L'approche générale des travaux de Martin Genet consiste à combiner différents modèles mathématiques utilisant des données d'imagerie médicale. Cette démarche vise à améliorer la compréhension de la mécanique des tissus vivants, sains ou pathologiques, et à développer des outils objectifs et quantitatifs de diagnostic et d'optimisation de traitement. Le chercheur a par exemple formulé des modèles de croissance de tissus capables de décrire l'hypertrophie cardiaque, une pathologie induite par l'hypertension artérielle ou pulmonaire. Ces modèles permettent ainsi d'étudier les changements engendrés par ces pathologies dans les contraintes internes aux tissus. Martin Genet a également travaillé sur l'interaction modèles-données, en développant une nouvelle méthode pour extraire les déformations des tissus à partir d'images médicales. Il a ainsi pu montrer comment, en combinant des modèles génériques et les données spécifiques d'un patient, il est possible d'estimer automatiquement la perte de contractilité du muscle cardiaque engendrée par un infarctus, un phénomène essentiel dans la compréhension de l'insuffisance cardiaque.



# ACCUEIL ET PETIT DÉJEUNER À PARTIR DE 8H30

MAISON DES X

12 RUE DE POITIERS — 75007 PARIS

MÉTRO SOLFERINO (LIGNE 12) — RER C MUSÉE D'ORSAY



# Contact

**CHLOÉ AUBISSE-DANIAULT**  
COMMUNICATION SCIENTIFIQUE  
+ 33 1 69 33 33 40 - + 33 6 76 43 99 97  
CHLOE.AUBISSE@POLYTECHNIQUE.EDU

**RAPHAËL DE RASILLY**  
RESPONSABLE DU PÔLE PRESSE  
+ 33 1 69 33 38 97 - + 33 6 69 14 51 56  
RAPHAEL.DE-RASILLY@POLYTECHNIQUE.EDU

