

# CEMRACS 2020

## *Modèles et méthodes numériques pour la dynamique de particules et de populations*

20 au 25 juillet : école d'été

27 juillet au 28 août : 5 semaines de projet

Luminy-Marseille, France



## *CEMRACS 2020 - Particles*

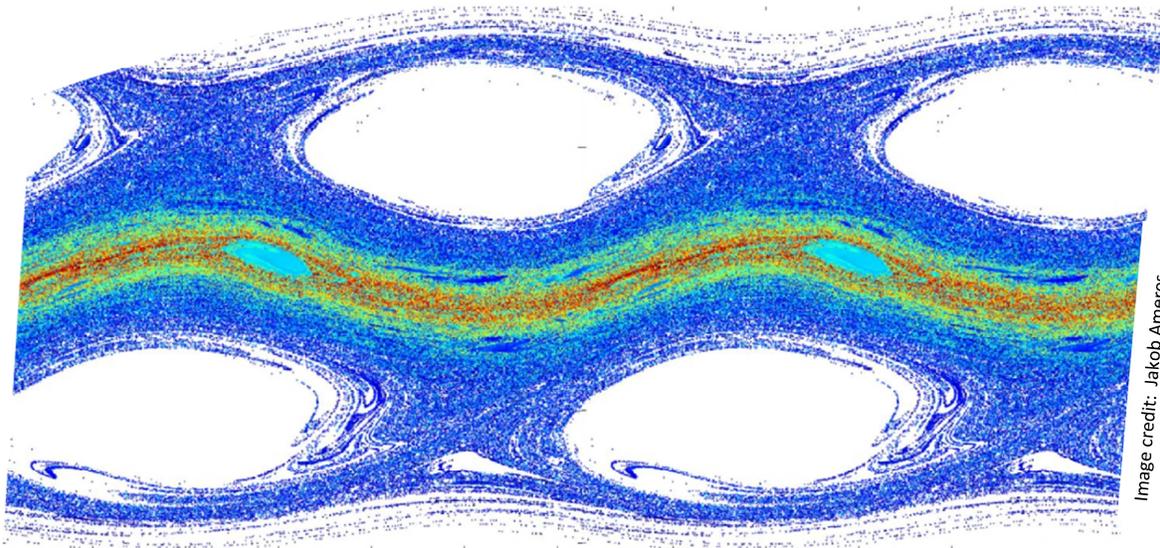


Image credit: Jakob Ameres

# Préambule

---

Le CEMRACS (*Centre d'Eté Mathématique de Recherche Avancée en Calcul Scientifique*) est un évènement scientifique de la SMAI (*Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles*), initié en 1996. Il a lieu tous les ans au à Luminy-Marseille durant 6 semaines au *Centre International de Rencontres Mathématiques*. L'objectif de cette école est de rassembler des scientifiques issus du milieu industriel et du milieu académique autour d'une thématique. Durant la première semaine une école d'été est proposée, durant laquelle plusieurs scientifiques renommés proposent des mini-cours. Les cinq semaines qui suivent, des projets de recherche seront initiés par de jeunes chercheurs brillants, encadrés par un ou plusieurs experts seniors. Ce congrès réunit une trentaine **d'experts seniors internationaux en mathématiques appliquées**, et dans des domaines connexes tels la Physique des plasmas, la Biologie ou l'Informatique parallèle. Le format interdisciplinaire et la longue durée remplissent une triple vocation : renforcer les collaborations interdisciplinaires, former de jeunes chercheurs de haut niveau, et échanger sur les travaux les plus récents en promouvant de nouvelles idées.

La thématique choisie pour le CEMRACS 2020 est l'étude de grands systèmes de particules dans des contextes variés : applications en Physique, Biologie et Sociologie. Nous nous intéresserons à la fois aux aspects de modélisation, à l'étude analytique, et à la simulation numérique. Ce type d'approche par particules soulève de nombreuses questions mathématiques et numériques délicates et les interactions interdisciplinaires sont importantes dans ce secteur. L'édition du CEMRACS de 2020 vise à poursuivre et à développer ces interactions ainsi qu'à promouvoir de nouvelles collaborations entre mathématiciens et industriels. Une des applications phares sera la physique des plasmas, en particulier autour de la description du confinement par fusion magnétique en lien avec le projet ITER. Cependant, cette école d'été visera aussi à promouvoir des thématiques émergentes et plus exploratoires telle que le thème des *Smart Cities* (villes intelligentes), en lien avec les mouvements collectifs (voitures, piétons, foules) et les problématiques actuelles d'optimisation des transports.



Site de Luminy, Marseille

Pour appréhender ces systèmes où des milliers voire des millions de particules interagissent entre elles, il est souvent utile d'essayer d'en décrire la dynamique à grande échelle, comme cela se fait en dynamique des gaz. Ces modèles macroscopiques ont bien sûr en général des domaines de validité limitée. Pour observer numériquement ces dynamiques, il faudra donc des méthodes numériques non seulement performantes mais également valides pour différentes échelles de description. Les modèles reposent bien sûr de manière cruciale sur les interactions en jeu : lorsque cela sera possible des comparaisons avec les données existantes pourront être effectuées.

En participant, au travers du montage d'un projet, vous renforcerez votre visibilité auprès de la communauté des mathématiques appliquées en général et de la communauté des étudiants et acteurs de cette discipline. Ce sera aussi pour vous l'opportunité d'échanger sur vos thèmes de recherche.

# Présentation générale

---

Le thème scientifique du CEMRACS est choisi par son comité d'organisation et change chaque année. Le but de cet événement est de réunir des scientifiques des milieux académiques et industriels pour échanger sur le sujet choisi. La première des six semaines est consacrée à une école d'été où plusieurs cours sur le thème du CEMRACS sont donnés par des scientifiques de renom. Après cette semaine de cours, les cinq semaines restantes sont consacrées à des projets de recherche proposés par des scientifiques universitaires ou industriels. Chacun de ces projets se voit attribué deux à trois étudiants. Chaque jour, après un séminaire matinal, ces jeunes chercheurs travaillent ensemble à leur projet sous la supervision de chercheurs expérimentés. L'expérience des années précédentes a montré l'impact positif considérable du CEMRACS, non seulement sur le développement de ces projets à court terme, mais également sur les interactions entre les mathématiques, les sciences appliquées et l'industrie. Les derniers CEMRACS ont eu les thèmes suivants (<http://smai.emath.fr/spip.php?article51>) :

- CEMRACS 2019, Fluides géophysiques, A. Durand, B. Fabrèges, P. Latte, F. Lagoutière, F. Marche, F. Rousset
- CEMRACS 2018, Modélisation numérique et mathématique pour la biologie et les applications médicales : description déterministe, probabiliste et statistique, V. Calvez, C. Grandmont, E. Locherbach, C. Poinard, M. Ribot, N. Vauchelet.
- CEMRACS 2017, Méthodes numériques pour les modèles stochastiques : contrôle, quantification des incertitudes, champ moyen, B. Bouchard, J.-F. Chassagneux, F. Delarue, E. Gobet, J. Lelong.
- CEMRACS 2016, Les défis numériques de l'informatique scientifique parallèle, L. Grigori, C. Japhet, P. Moireau, P. Parnaudeau.
- CEMRACS 2015, Couplage de modèles multi-physiques impliquant des fluides, E. Frenod, E. Maitre, A. Rousseau, S. Salmon, M. Szopos.
- CEMRACS 2014, Modélisation numérique des plasmas, M. Campos-Pinto, F. Charles, H. Guillard, B. Nkonga.
- CEMRACS 2013, Modélisation et simulation de systèmes complexes – approches stochastiques et déterministes, N. Champagnat, T. Lelievre, A. Nouy.
- CEMRACS 2012, Méthodes numériques et algorithmes pour le calcul hautes performances, S. Descombes, B. Dussoubs, S. Faure, L. Gouarin, V. Louvet, M. Massot, V. Miele.

Les vocations du CEMRACS sont de :

- présenter des cours et travaux récents par des spécialistes internationalement reconnus et promouvoir de nouvelles idées,
- initier ou poursuivre des collaborations interdisciplinaires, mêlant les milieux académiques et industriels,
- former de jeunes chercheurs de haut niveau.

Lors des précédentes éditions, cette manifestation accueillait 50 thésards et post-docs sur environ 100 participants, et de nombreuses nationalités étaient représentées.

# Organisation et programme de l'école

---

## Organisation

Comité d'organisation :

- Emmanuel Franck (Equipe projet Tonus et IRMA, INRIA et Université de Strasbourg)
- Hélène Hivert (Ecole centrale de Lyon, ICJ)
- Guillaume Latu (IRFM, CEA Cadarache)
- Bertrand Maury (Département de Mathématiques et Applications, Ecole Normale Supérieure, Paris et LMO, Université Paris-Sud)
- Sara Merino-Aceituno (University of Vienna, Autriche)
- Michel Mehrenberger (I2M, Aix-Marseille Université)
- Laurent Navoret (IRMA et équipe projet Tonus, Université de Strasbourg et INRIA)

Comité scientifique :

- Pierre Degond, Imperial College London, Angleterre
- Irène Gamba, University of Texas, Austin, USA
- Virginie Grandgirard, CEA Cadarache, France
- Eric Sonnendrücker, Max-Planck Institute for Plasma Physics, Munich, Allemagne

Les membres du comité d'organisation possèdent un large éventail de compétences : numérique, modélisation, calcul haute performance, modèles cinétiques, modèles fluide-particule, méthodes de préservation asymptotique, méthodes multi-échelles, application à la physique des plasmas, application à la biologie, application aux systèmes sociaux, etc. La coordination est assurée par Michel Mehrenberger. Le comité d'organisation prend en charge la gestion de la conférence au niveau logistique : réservation et gestion du lieu de la conférence, organisation de l'emploi du temps et animation scientifique, gestion des participants et des hébergements, diffusion de l'information aux participants et recherche de financements :

- Coordination : M. Mehrenberger
- Site web : L. Navoret, E. Franck, M. Mehrenberger
- Hôtellerie, restauration, facturation : H. Hivert, E. Franck, G. Latu
- Contact participants : H. Hivert
- Proceedings de la conférence : B. Maury, M. Mehrenberger, S. Merino-Aceituno
- Discussion avec le comité scientifique : M. Mehrenberger, G. Latu
- Choix du programme et des conférenciers : tous les membres du comité d'organisation
- Recherche de fonds et de participants : tous les membres du comité d'organisation

Le comité scientifique veille à la cohérence scientifique du programme de l'école d'été et à la qualité de l'évènement.

## Programme de la semaine de cours

Souhaitant encourager l'émergence de nouvelles collaborations interdisciplinaires tout en mettant le focus sur certaines applications porteuses, nous avons organisé le CEMRACS2020 « *Modèles et méthodes numériques pour la dynamique de particules et de populations* » autour de deux applications principales : la fusion magnétique et les mouvements collectifs. Les cours seront donnés par des chercheurs reconnus internationalement. Ils se déclinèrent en trois parties, une partie introductive, une partie principale et une partie dédiée aux avancées et aux perspectives. Les quatre cours principaux sont :

- Isabelle Gallagher (ENS Paris) : Dérivation de l'équation de Boltzmann et limite hydrodynamique qui permet de faire le point sur les modèles cinétiques et leur approximation fluide.
- Giacomo Dimarco (Université de Ferrare, Italie) : Méthodes de Monte Carlo, schémas cinétiques avec collisions.
- José A. Carillo (Imperial College, London, Angleterre) : Mouvement collectif de quantités actives et modèles de Cucker-Smale. Approche mathématique sur les mouvements collectifs.
- Cécile Appert-Rolland (Laboratoire de Physique Théorique, Université Paris-Sud) : Modélisation de mouvements de foule ; modèles de type force sociale et automates cellulaires ; aspects expérimentaux. Point de vue physicien sur les mouvements collectifs.



Figure 1 Modélisation de piétons

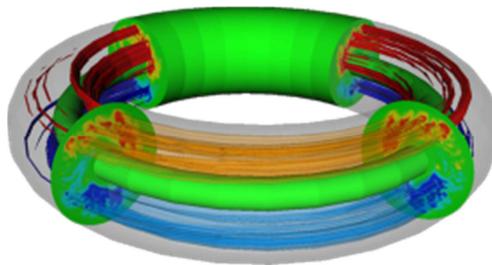


Figure 2 Modélisation de turbulences dans un tokamak

De plus, quatre cours plus courts (1h30) comprenant une description d'applications concrètes utilisant des modèles basés sur les particules seront donnés :

- Emmanuel Frénod (Université de Vannes), Assimilation de données, exemples concrets issus de l'industrie où les modèles d'équations différentielles partielles sont alimentés avec des données
- Lénaïc Chizat (Université Paris-Sud), Transport optimal et techniques en Machine Learning : suivi des individus par observation eulérienne
- Martin Campos Pinto (LJLL, Paris & IPP Max-Planck, Allemagne), Méthodes par particules pour la physique des plasmas.
- Xavier Besseron (Université de Luxembourg) Calcul haute-performance pour les particules. Parallélisation du logiciel DPM (Discrete Particle Method).

L'objectif des quatre cours principaux est de présenter les aspects méthodologiques et les outils théoriques et pratiques. Nous avons souhaité privilégier des cours relativement longs (5 heures) pour permettre de traiter un sujet de manière approfondie. D'autre part, les quatre cours complémentaires visant des applications concrètes permettent de mettre les cours principaux en perspective et aussi de mettre les thèmes abordés en relation avec les problématiques industrielles. Grâce à ces cours, les doctorants et jeunes

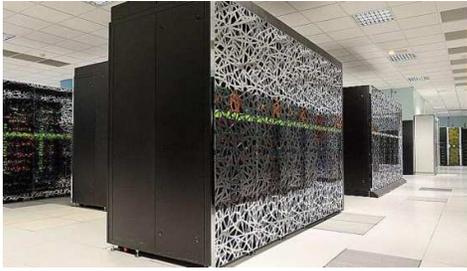


Figure 3 Supercalculateur Irene Joliot-Curie – CEA

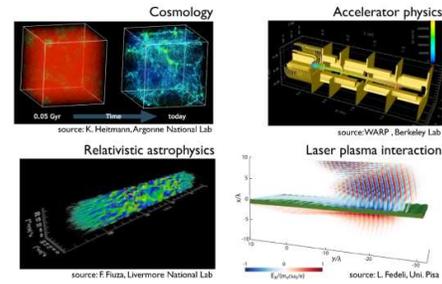


Figure 4 Utilisation de particules dans de nombreux domaines

chercheurs en particulier, seront armés et auront les bases nécessaires pour aborder sereinement les projets de recherche qui se déroulent sur les 5 semaines suivantes. La combinaison de 2 thématiques fortes bien distinctes liées au transport de particules permet d’avoir des points de vue différents tout en s’enrichissant mutuellement.

### *Programme des cinq semaines de projets*

Lors de la deuxième phase du CEMRACS, chaque participant travaille en équipe sur un projet proposé soit par un industriel soit par une équipe universitaire. Les équipes sont composées de jeunes chercheurs encadrés par un ou deux chercheurs confirmés. Un séminaire quotidien est organisé le matin afin de susciter des échanges entre les participants et de permettre l'acquisition de nouvelles connaissances dans le thème considéré.

Le CIRM (Centre International de Rencontres Mathématiques) est unique au monde. Situé à Luminy, au cœur des Calanques et sur le campus scientifique marseillais, il a été conçu pour accueillir des chercheurs et leur permettre de faire avancer des problématiques mathématiques, mais aussi de diffuser leurs savoirs auprès des jeunes chercheurs et doctorants. Il dispose d’une bibliothèque renommée propice au travail. Lors des cinq semaines d’atelier, chaque participant est intégré à un projet financé par un industriel ou une équipe universitaire. Une dimension particulière de cette école d’été : les chercheurs dorment, mangent et travaillent au CIRM, ce qui favorise les synergies.

Douze à vingt projets sont classiquement mis en œuvre durant chaque CEMRACS. Chacun fera l'objet d'une publication soumise à un journal. La publication a lieu, depuis quelques années, dans le journal ESAIM proceedings <https://www.esaim-proc.org/>.



# Retombées

---

Nous attendons de cette édition du CEMRACS plusieurs retombées importantes. Tout d'abord, elle rassemblera des jeunes chercheurs et des chercheurs confirmés d'horizons très différents. Cela permettra de renforcer les liens entre les milieux académiques et industriels.

Les cours proposés lors de l'école thématique «mathématique appliquée aux systèmes de particules» seront, en particulier, dispensés par des mathématiciens appliqués mais également par une physicienne. Les deux axes de l'école thématique ont été choisis pour couvrir un large spectre applicatif, un des buts étant de former des chercheurs sur des sujets d'actualité, pertinents, tant du point de vue de l'analyse mathématique et numérique, que des enjeux industriels. Le lien avec les sciences des données, qui est un domaine en plein essor, ouvre aussi des portes pour de futures embauches d'étudiants. Nous espérons ainsi que ce CEMRACS renforcera les liens existants et créera de nouvelles collaborations et synergies.

Enfin cette école a bien sûr également été pensée comme le point de départ des projets de recherche sur lesquels de jeunes chercheurs encadrés par des chercheurs seniors travailleront durant les 5 semaines suivantes, autour de questions liées aux systèmes de particules.

Le soutien et la proximité d'ITER et du CEA sont en outre des atouts essentiels qui concourent à focaliser la recherche autour des enjeux critiques pour la fusion magnétique. Ce CEMRACS contribuera à l'établissement de ponts entre ces grands équipements de la recherche appliquée et la communauté des mathématiques appliquées à la fois au niveau local et international.

# Montage d'un projet scientifique

---

Pour proposer un projet, il suffit d'en envoyer un court descriptif (comprenant un résumé d'une dizaine de phrases typiquement) à [cemracs20@smi.emath.fr](mailto:cemracs20@smi.emath.fr). Le projet devra être encadré par une personne expérimentée (industriel ou académique), dont la présence sur place peut être soit ponctuelle, soit durant une fraction significative du temps de projet. L'engagement pour les chercheurs confirmés consiste à assurer l'organisation et l'avancement du projet, i.e. à définir précisément le sujet de recherche et encadrer les participants au projet. Les visiteurs scientifiques qui sont intéressés par les projets en cours peuvent être associés à ces programmes pour de plus courtes périodes et sont, bien sûr, les bienvenus. Une équipe de deux ou trois jeunes chercheurs travaillera sur le sujet pendant la durée de la session de recherche. Chaque projet pourra disposer d'un accès à des moyens de calcul régionaux (méso-centre de l'Université Aix-Marseille). Le nombre de projets proposés dans les sessions précédentes du CEMRACS se trouvait dans la fourchette de 11 à 17.

Le CEMRACS a lieu au CIRM, à Marseille sur le campus de Luminy. Les participants sont hébergés sur place au tarif de 96 euros par jour en chambre double et 108 euros en chambre simple (nuit + repas). Un repas peut aussi être réservé sans logement associé pour 16 euros. Le financement des projets doit être dans la mesure du possible envisagé dès le dépôt de la proposition. Classiquement, le montage d'un projet nécessite un budget de 12 000 euros qui couvre au minimum les coûts d'hébergement. N'hésitez pas à contacter les organisateurs pour en discuter avec eux [cemracs20@smi.emath.fr](mailto:cemracs20@smi.emath.fr).

Les personnes intéressées sont invitées à proposer un **pré-projet**, présenté sous forme d'un titre et de quelques lignes descriptives avant **le 31 décembre 2019** à [cemracs20@smi.emath.fr](mailto:cemracs20@smi.emath.fr). Le descriptif plus complet de une ou deux pages accompagnées d'une proposition de financement sera ensuite à constituer pour le 1<sup>er</sup> mai 2020.