

PSL 

CAS  
**CENTRE  
AUTOMATIQUE  
ET SYSTÈMES**

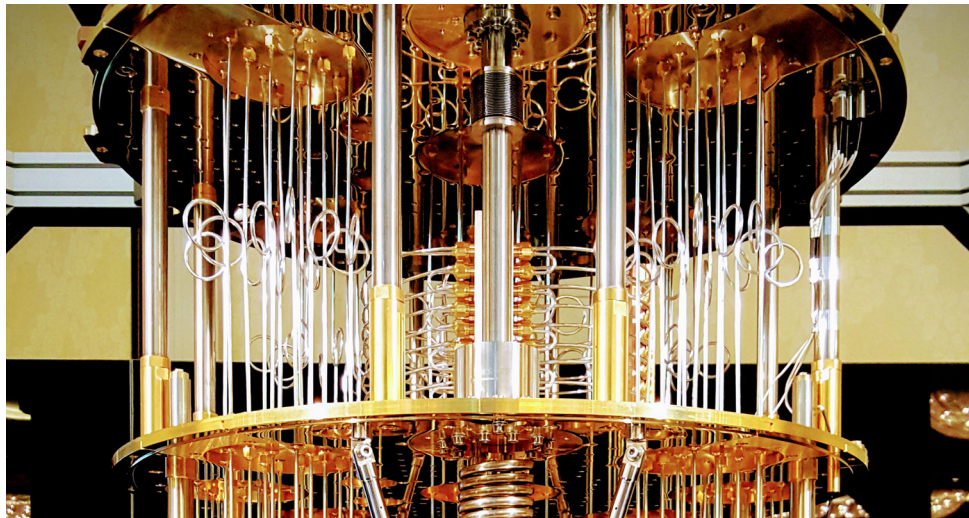
## LE CAS : RECHERCHE ET EXPERTISE EN CONTRÔLE DES SYSTÈMES DYNAMIQUES

Le Centre Automatique et Systèmes (CAS) de Mines Paris – PSL est spécialisé en théorie du contrôle, un champ des mathématiques appliquées s'intéressant à la commande des systèmes dynamiques.

Le CAS est l'un des 18 centres de recherche de Mines Paris – PSL et fait partie du département Mathématiques & systèmes, l'un des cinq départements définis selon les grandes thématiques et enjeux d'avenir

de l'École. S'inscrivant dans une démarche de recherche à double impact, le CAS allie recherche académique et collaborations industrielles.

Au sein de l'Université PSL reconnue pour son ouverture internationale, l'École offre au CAS un cadre idéal pour allier enseignements théoriques et applications pratiques.



La recherche en circuit court avec les acteurs issus d'autres domaines – qu'ils soient scientifiques tels que la physique quantique, la microfluidique ou l'optimisation, ou industriels comme le génie des procédés, la robotique, l'électrotechnique ou l'aérospatial – contribue à l'enrichissement de la théorie du contrôle, de ses fondements

théoriques jusqu'aux derniers détails de son implémentation dans des boucles en temps réel. Le CAS a ainsi développé des avancées majeures telles que la théorie de la platitude ou celle des observateurs invariants, ainsi que des algorithmes de contrôle déployés dans des dispositifs industriels tels que le FlowEZ™ de Fluigent ou ceux de Pryo de l'entreprise Fareco.

## LE CAS EN CHIFFRES

# 1M€

par an

de contrats de recherche

# 11

personnels  
de recherche

## Niveau doctorat

### les enseignements

- Spécialité « Mathématiques et Contrôle »
- École doctorale Ingénierie des Systèmes, Matériaux, Mécanique, Énergétique (ISMME) de l'Université PSL

# +15

doctorantes  
et doctorants

# +10

partenaires industriels

en recherche directe

## Niveau master

### les enseignements

- Traitement du signal
- Théorie du contrôle
- Optimisation continue
- Équations différentielles
- Informatique quantique

# LES CONTRIBUTIONS MAJEURES DE NOS CHERCHEUSES ET CHERCHEURS

Plus de 40 publications  
scientifiques par an

## ● **Durée de vie des qubits de chat : une avancée dans l'informatique quantique**

Cette publication marque une avancée majeure en informatique quantique, en démontrant la réalisation d'opérations quantiques sur un qubit d'une grande stabilité. L'évolution réside dans un temps de bit-flip mesuré sur ce qubit qui dépasse les 10 secondes. Cette innovation ouvre la voie à des calculs quantiques plus puissants et plus stables, avec des applications allant de la cryptographie à la modélisation moléculaire, en passant par l'IA.

Équipe ENS-INRIA-Mines Quantic, « Contrôle quantique d'un qubit de chat avec des temps d'inversion de bit-flip supérieurs à dix secondes ».

## ● **Théorie de la platitude : la planification de trajectoires simplifiées**

Cet article fonde la théorie de la platitude, qui définit des systèmes dynamiques dont les trajectoires sont paramétrables par une sortie et ses dérivées. Cette propriété simplifie la synthèse de lois de commande, notamment la planification et le suivi de trajectoires. Développée pour les systèmes dynamiques non linéaires, l'approche sera étendue à d'autres cadres, dont la commande frontière des Équations aux Dérivées Partielles.

Fliess, M., Lévine, J., Martin, P., & Rouchon, P. (1995). Flatness and defect of non-linear systems: introductory theory and examples. *International journal of control*, 61(6), 1327-1361.

## ● **ANAMEL, le logiciel d'optimisation des raffineries**

Cette publication présente le fonctionnement d'ANAMEL, un logiciel optimisant le mélange de pétrole brut en raffinerie pour obtenir un produit aux propriétés définies. Ce problème, peu instrumenté et aux multiples entrées, est résolu grâce à une approche de commande optimale adaptative. Le produit est déployé dans de nombreuses raffineries TOTAL.

Chebre, M., Creff, Y., & Petit, N. (2010). Feedback control and optimization for the production of commercial fuels by blending. *Journal of Process Control*, 20(4), 441-451.

## ● **Des structures pour penser l'observation des systèmes non linéaires**

Ce livre propose un cadre d'étude décrivant une part importante de l'état de l'art en synthèse d'observateurs d'état pour les systèmes dynamiques non linéaires. En définissant un observateur comme la combinaison d'un changement de variable inversible et d'une dynamique appropriée (notamment stable), il explore un ensemble de structures d'où découlent les grandes familles d'observateurs : grands-gains, Luenberger, etc.

Bernard, P. (2019). *Observer design for nonlinear systems* (Vol. 479). Springer.

## Exemples de thèses en cours

### Observateurs d'état pour les piles à combustible à hydrogène pour l'optimisation du rendement et de la durabilité

Anne-Flor Fontaine, avec IFP Energies nouvelles (IFPEN)

Sous la direction de Delphine Bresch-Pietri et Florent Di Meglio

### Schéma de lecture non préjudiciable pour les processeurs quantiques basés sur le cat-qubit

Adrien Bocquet, avec Alice & Bob

Sous la direction de Zaki Leghtas

### Synthèse d'observateurs pour les systèmes non réguliers et hybrides

Valentin Alleaume

Sous la direction de Pauline Bernard et Florent Di Meglio

### Commande de la filtration hydrodynamique

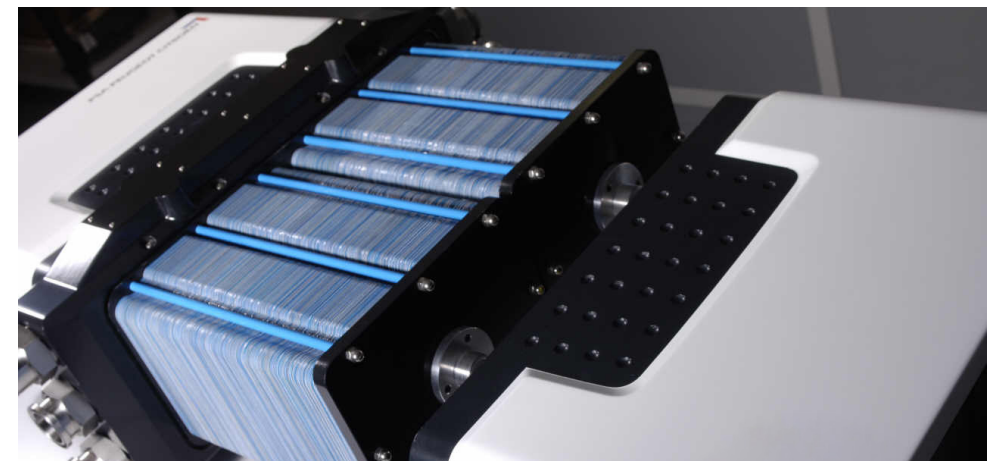
Michaël Vincendon

Sous la direction de Nicolas Petit

### Résolution de problèmes à N corps quantiques ouverts grâce à des méthodes de relaxation semi-définies

Gustave Robichon

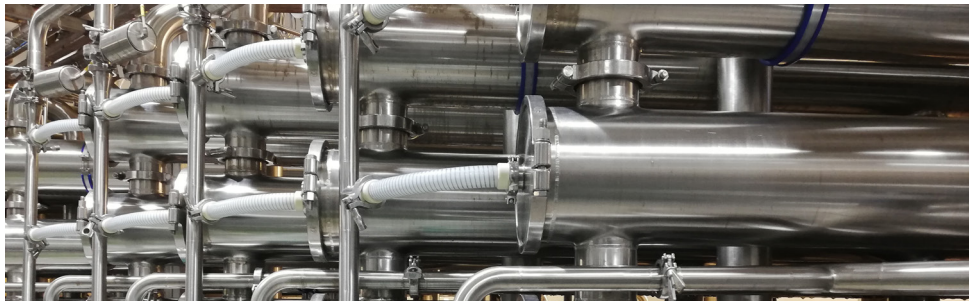
Sous la direction d'Antoine Tilloy



## AXES DE RECHERCHE

La recherche menée au CAS vise à faire progresser la théorie du contrôle (automatique). Le centre publie dans les revues et conférences de référence et travaille en lien étroit avec des problématiques industrielles et expérimentales.

Les permanents recueillent les besoins des acteurs économiques, et les contrats portés par ARMINES et l'École alimentent de nouvelles questions scientifiques. Les contributions du CAS se concrétisent par des algorithmes exécutés en temps réel sur des systèmes industriels ou expérimentaux développés avec ses partenaires. Le CAS a contribué à des avancées majeures dans des secteurs variés : industrie pétrolière, automobile, électrotechnique, mécatronique et systèmes quantiques.



### Automatique non-linéaire

Le CAS développe des méthodes de synthèse de lois de commande en boucle ouverte et fermée, d'observateurs d'état, et d'identification de systèmes pour les systèmes dynamiques non-linéaires. La platitude, les observateurs invariants ou dits de « KKL » en sont des exemples. Ce champ recouvre également l'étude de systèmes industriels dans lesquels la gestion des non-linéarités est critique et non-standard : *slugging*, *stick-slip*, saturations magnétiques dans les machines électriques, etc. Plus récemment, le CAS s'intéresse aux systèmes non-réguliers et hybrides, avec des approches variées, allant de l'extension des approches classiques de l'automatique à l'optimisation non-lisse ou au *machine learning*.

### Systèmes de dimension infinie

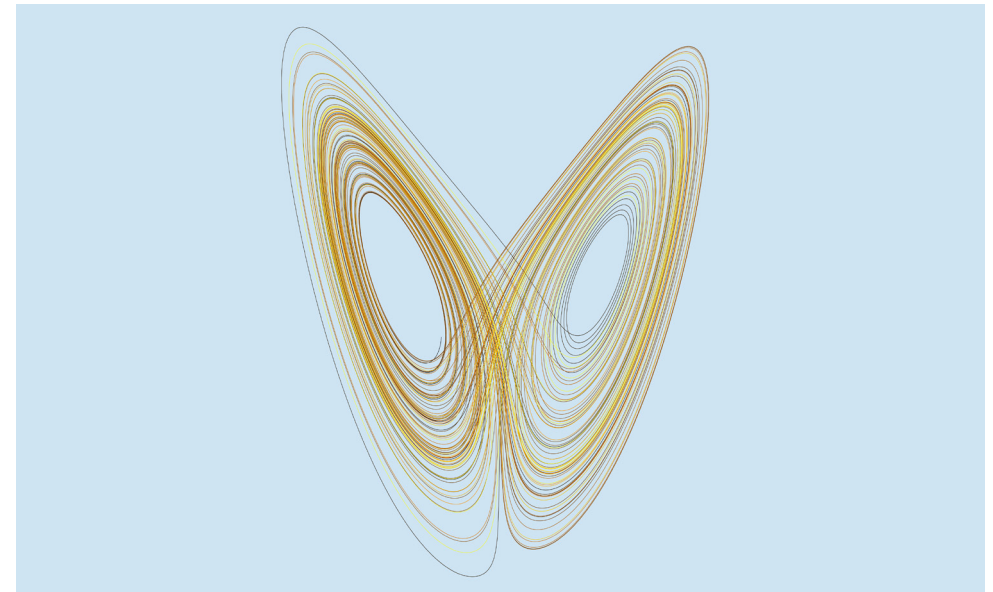
Le CAS s'intéresse à la commande et l'estimation de systèmes à retards possiblement variables, ainsi que de systèmes d'Equations aux Dérivées Partielles (EDP). Cela regroupe par exemple la théorie de la platitude différentielle, le développement du backstepping pour les systèmes à retard dépendant de la commande, ou la commande frontière d'EDP hyperboliques. Ces travaux ont des applications dans les domaines variés allant du forage au contrôle de moteurs à combustion.

### Mathématiques de la décision

Le CAS bénéficie d'une expertise en optimisation de systèmes de grande taille et en commande optimale. Ses travaux théoriques portent sur la gestion des contraintes d'état et de commande, des retards, ou des phénomènes stochastiques pour la commande optimale. Dans le domaine de l'optimisation numérique, le centre exploite la structure sous-jacente des problèmes de grande taille – par exemple dans le cadre de l'*optimal power flow* – afin de développer des approches de pointe, adaptées aux architectures matérielles. Les travaux du CAS portent également sur l'utilisation des réseaux de tenseurs pour résoudre des problèmes d'optimisation de très grande taille, notamment en physique fondamentale, tels que le problème à n-corps quantique.

### Systèmes quantiques

Au sein de l'équipe Quantic, le CAS est un pionnier du développement des qubits de chats et de leur utilisation dans le but de fabriquer un ordinateur quantique. Cet objectif, poursuivi avec la start-up Alice & Bob, structure une partie importante de la recherche du centre dans le domaine : préparation d'état quantiques, codes correcteurs d'erreurs, méthodes perturbatives et schémas numériques pour la résolution de l'équation de Linblad, etc. Parallèlement, le CAS explore le potentiel de nouveaux qubits, comme les qubits GKP qui permettent de s'affranchir à divers degrés de codes correcteurs d'erreur grâce à l'ingénierie de la décohérence reposant sur des circuits Josephson contrôlés par drives micro-ondes.



## UN RÉSEAU DE COLLABORATIONS AU SERVICE DE L'INNOVATION

Le CAS s'appuie sur un réseau solide et diversifié de partenaires issus du monde académique, industriel et institutionnel. Ces collaborations permettent d'enrichir ses travaux de recherche, d'explorer de nouveaux horizons et de renforcer le lien entre science et application concrète.

**Drillscan**

**Alice & Bob**

**Lithosquare**

**K-Ryole**

**IFPEN**

**Wandercraft**

**Whitewater**

**Schneider**

**Safran**

**Fairmat**

**Electric**

**ANSYS France**

### **Schneider Electric : piloter un moteur industriel sans capteurs**

Le CAS collabore depuis 30 ans avec Schneider Electric, notamment sur la commande « sans capteurs » de machines électriques. Nous participons à la conception des variateurs de fréquences, qui permettent de réguler la vitesse des moteurs industriels via la tension électrique, en n'utilisant que des mesures de courants. Les sujets de recherches ont porté sur l'estimation d'état, la gestion des contraintes à haute vitesse, ou l'identification des paramètres du moteur.



### **IFP Energies nouvelles : contrôle des systèmes énergétiques et industriels**

Le CAS collabore avec IFPEN sur plusieurs projets, notamment le contrôle des éoliennes offshore, des moteurs et des piles à combustible. La collaboration, qui dure depuis plus de 20 ans, a également porté sur la réduction des émissions par les moteurs thermiques ou la simulation de la combustion par des approches d'apprentissage automatique.

### **CNES : contrôle optimal des trajectoires spatiales**

Le CAS collabore avec le CNES sur des projets de contrôle optimal pour les missions spatiales, incluant le contrôle des atterrissages, des trajectoires de montée et de rentrée des véhicules. Ces travaux visent à optimiser les trajectoires et à assurer la sécurité et la précision des opérations dans le cadre des missions spatiales.

### **Alice & Bob : vers l'ordinateur quantique**

Fondée à la suite d'une thèse dirigée par Zaki Leghtas, l'entreprise Alice et Bob a pour objet la conception et la fabrication d'un ordinateur quantique ayant comme brique de base les « qubits de chats ». Le CAS accompagne désormais la startup sur un grand nombre de sujets, allant du développement de la technologie fondamentale des qubits de chats à la calibration des expériences ou la simulation des systèmes quantiques ouverts.

### **Wandercraft : un exosquelette pour patients paraplégiques**

Depuis sa création il y a 10 ans, le CAS accompagne Wandercraft dans la conception et la fabrication du seul exosquelette de jambes auto-stabilisé. Les patients para- ou hémiparaplégiques qui l'utilisent dans les centres de soins peuvent reproduire les mouvements de marche, tout en ayant les mains libres. Le CAS y a encadré trois thèses portant sur la stabilisation de la marche, l'estimation des déformations mécaniques à l'aide de capteurs inertiels, ou la génération en ligne de trajectoires pour la rééducation.

## RECHERCHE SUBVENTIONNÉE : SOUTIEN INSTITUTIONNEL ET PROJETS INNOVANTS

### Institutions partenaires

Commission européenne	Ministère des Armées et des Anciens Combattants	Agence nationale de la recherche (ANR)
Université PSL		CNRS

### Nos projets phares collaboratifs subventionnés

#### Projet d'innovation HORIZON-JU-CLEANH2-2025 MARINER Partnership – Validation and Demonstration of a Reliable, Efficient, Scalable, and Low-Cost PEM Fuel Cell System

Le programme conçoit et assemble une pile à combustible à membrane échangeuse de protons d'1MW. Cet objectif doit être assorti d'une roadmap vers une pile de 10 MW. Ces puissances colossales sont nécessaires pour la propulsion de navires. Le CAS participe à la conception des lois de commande et de l'estimation de l'état de santé de la pile.

#### Bourses du Conseil Européen de la Recherche (ERC)

##### Projet « Quantum Feedback Engineering » (Q-Feedback) dirigé par Pierre Rouchon

Le projet développe des méthodes de contrôle pour protéger les ressources essentielles des systèmes quantiques, telles que les cohérences et intrications, contre les perturbations externes. L'objectif est de rendre les qubits plus robustes, afin de renforcer les technologies quantiques pour les calculs, les communications et les capteurs.

##### Projet « ECLIPSE » dirigé par Zaki Leghtas, financé par un ERC Starting Grant

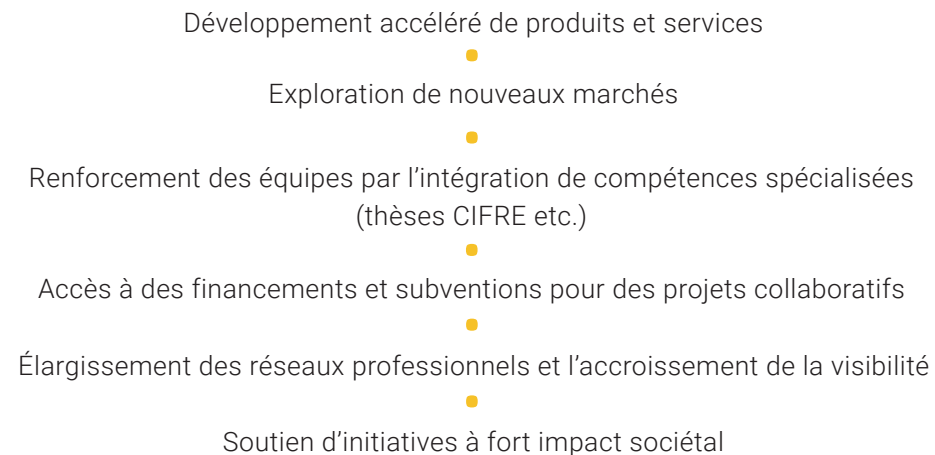
Le projet vise à rendre les qubits plus fiables en utilisant des circuits supraconducteurs et des états de « chat de Schrödinger » pour les protéger des perturbations, avec l'objectif de créer des ordinateurs quantiques plus puissants et sécurisés.

##### Projet « QFT.zip », dirigé par Antoine Tilloy

Le projet utilise les réseaux tensoriels pour modéliser les systèmes quantiques complexes, en compressant les informations essentielles. Il vise à améliorer les simulations en physique quantique, avec des applications potentielles en chimie et informatique quantiques.

## UN ACCOMPAGNEMENT POUR DES PROJETS INNOVANTS

### Mines Paris – PSL mobilise l'expertise de ses équipes de recherche et de ses spécialistes pour mettre en place des collaborations :



## LE SAVIEZ-VOUS ?



### Pierre Rouchon élu membre de l'Académie des sciences en 2025

Pierre Rouchon est spécialiste de l'automatique et des technologies quantiques. Il a contribué à des avancées majeures, notamment dans le contrôle en temps réel des systèmes quantiques, ouvrant la voie à des applications innovantes dans ce domaine de pointe.

Contact : [communication@minesparis.psl.eu](mailto:communication@minesparis.psl.eu)  
Site web : [cas.minesparis.psl.eu](http://cas.minesparis.psl.eu)



60, boulevard Saint-Michel  
75272 Paris Cedex 06

**Pour en savoir plus :**  
[communication@minesparis.psl.eu](mailto:communication@minesparis.psl.eu)  
[www.minesparis.psl.eu](http://www.minesparis.psl.eu)