

# Spécialité MAIN

*Mathématiques Appliquées et Informatique*

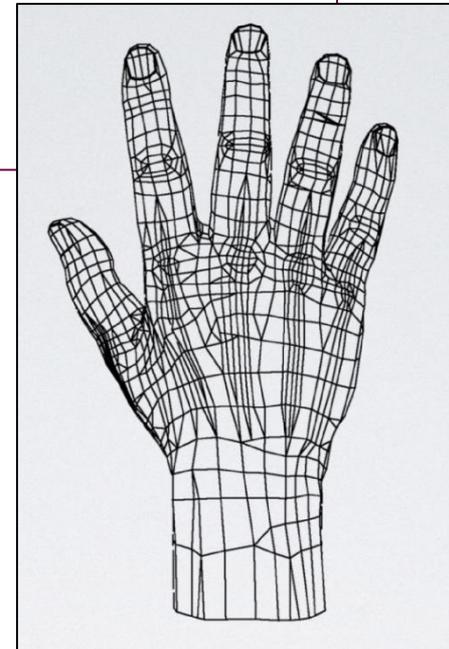
*Polytech Sorbonne*

**Xavier Tannier**

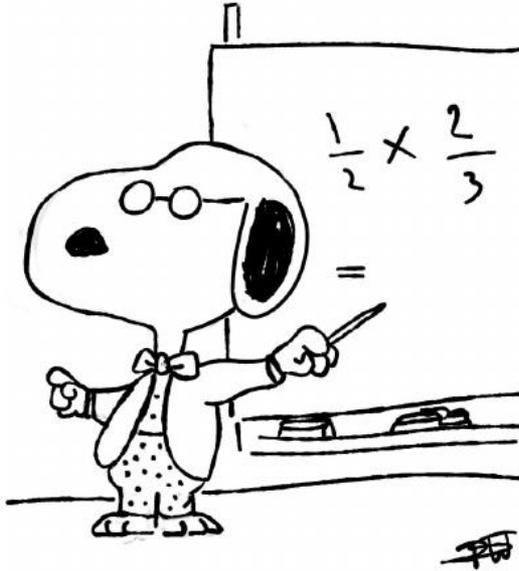
responsable de la spécialité

[xavier.tannier@sorbonne-universite.fr](mailto:xavier.tannier@sorbonne-universite.fr)

©2021



# Objectifs



*“Nous avons besoin d’ingénieurs comprenant les modèles mathématiques des phénomènes et capables de les implémenter au mieux sur des machines de calcul intensif. Nous rencontrons de grandes difficultés à trouver ce type de profil.”*

*Michel Teysedre, IBM, 2012*

# Objectifs



*“L’élaboration et l’utilisation de modèles numériques est au coeur du secteur énergétique et concerne directement les activités d’exploration, de développement et de production des hydrocarbures”*

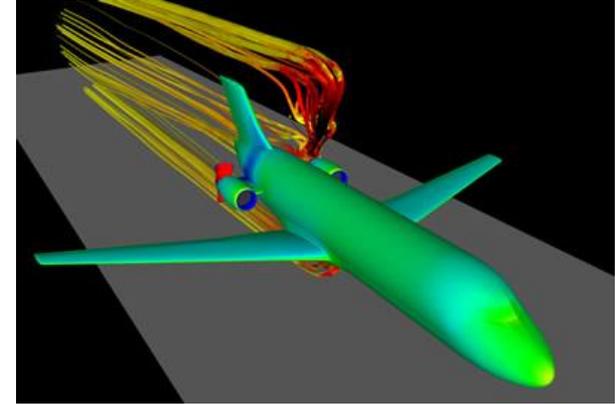
*“( . . . ) solides connaissances en informatique de manière à pouvoir maîtriser les phases de développement et d’intégration d’applications dans un matériel très contraint en ressources (...) il est essentiel que les ingénieurs R&D possèdent d’excellentes bases en algorithmique et mathématiques”*



*“Il y a toujours dans ce domaine un très fort besoin de fusion entre les métiers purs du ferroviaire, et les métiers de la simulation, du calcul numérique, et de l’informatique”*

# Calcul scientifique

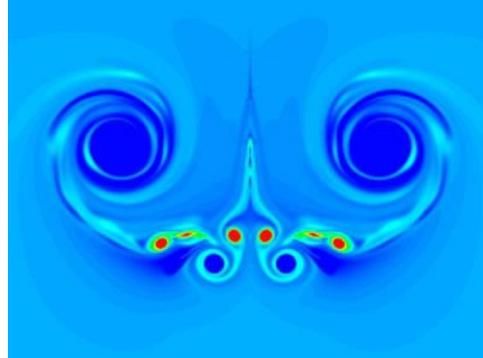
- Modélisation (formalisme mathématique)
- Étude mathématique (modèle bien posé ?)
- Analyse numérique
  - développement d'algorithmes
- Développement informatique
  - Tirer parti des progrès des technologies et de l'accessibilité des ressources de calcul (calcul parallèle, super ordinateur, GPU ...)
  - Notion de coût, complexité des algorithmes
- Visualisation , analyse des résultats



⇒ Besoin d'ingénieurs possédant une  
**double compétence en mathématique et informatique**

# Simulation numérique

- Expérimentation virtuelle (“In silicio”) ⇒ étudier le fonctionnement actuel et futur d’un phénomène, d’un système
- Très grande variété des domaines d’application : mécanique des structures/des fluides, sciences du climat, géologie, sciences des matériaux, astrophysique, physique théorique, chimie, biologie, médecine...



*Simulation numérique des tourbillons de sillage d'un avion de transport (ONERA)*

⇒ Besoin d'ingénieurs possédant une **double compétence en mathématique et informatique**

# Cryptographie

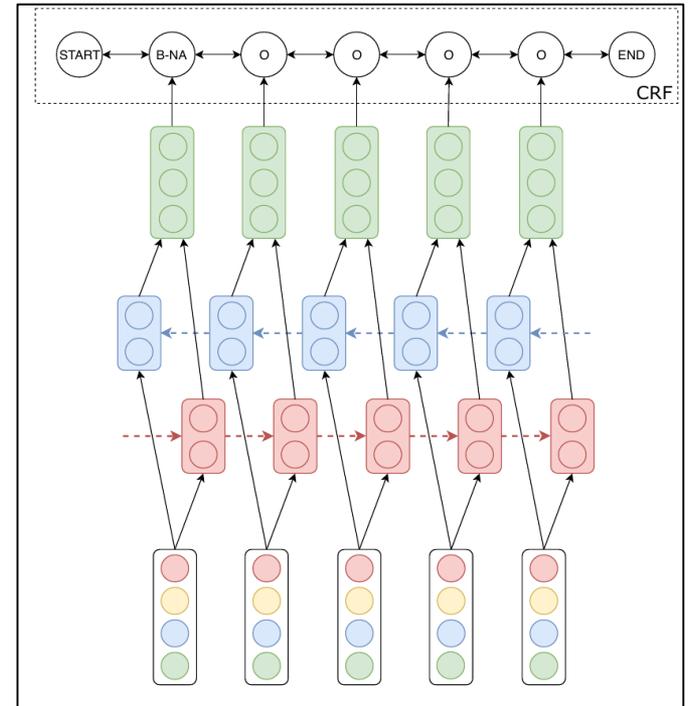
- Comment garantir la confidentialité, l'intégrité et l'authenticité des échanges à travers un canal non sécurisé ?
- Algorithmes à clé secrète, à clé publique, connaissance des principaux algorithmes
- Application dans le monde réel : attaques et parades



⇒ Besoin d'ingénieurs possédant une  
**double compétence en mathématique et informatique**

# Sciences des données, apprentissage

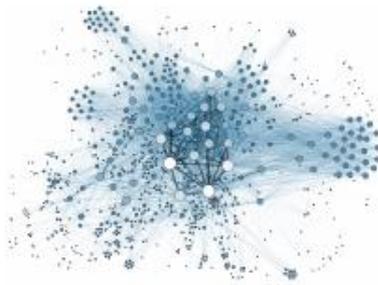
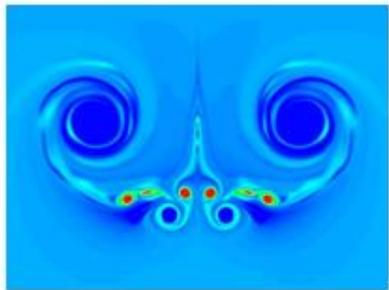
- Analyse statistique des données
- Modèles d'apprentissage supervisé, non supervisé
- Prétraitement des données, gestion du bruit, des données manquantes, des grands volumes
- Projets : analyse d'image, de texte, de données hétérogènes



⇒ Besoin d'ingénieurs possédant une  
**double compétence en mathématique et informatique**

# Ingénieur en mathématiques et informatique ?

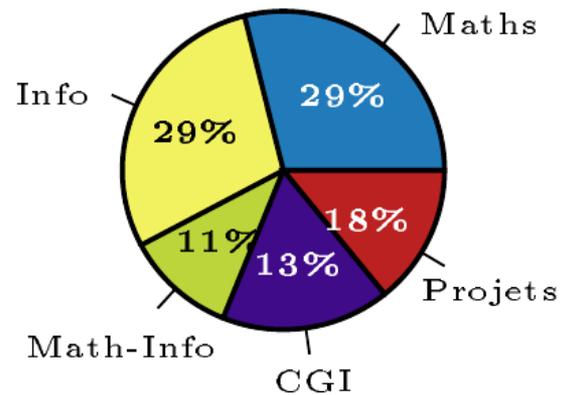
- Secteurs
  - Aéronautique, Transports, Energie, Géophysique, Services informatiques,
  - Santé, Biomédical, Sécurité, Embarqué, Spatial, Assurances
- Exemples de domaine
  - Calcul scientifique, calcul haute performance, cryptographie, sécurité informatique, science des données, apprentissage automatique, calcul embarqué, sûreté de fonctionnement, biostatistiques, traitement d'images...



# *Étudiants MAIN*

- 24 places en MAIN 3
- Provenances :
  - PEIP A (entre 10 et 14 selon les années, entre 6 et 10 de SU)
  - Post-PACES
  - L2
  - CPGE
  - Étranger
- Entre 25 et 40 % de filles selon les promos

# Au programme de MAIN



# MAIN, année 3

Outils pour l'informatique  
Informatique générale (C)  
Algorithmique générale  
Architecture des ordinateurs  
Programmation système  
Python  
Fortran

Intégration  
Analyse hilbertienne  
Analyse numérique  
Probabilités  
Calcul différentiel  
Systèmes non linéaires  
Optimisation numérique  
Processus stochastiques

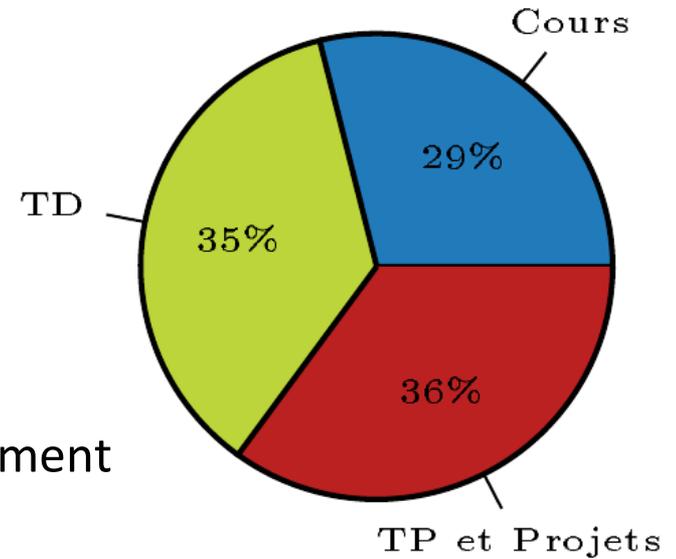
Projet de modélisation pluridisciplinaire  
Projet d'initiation

*4 gros projets sur 3 ans, + petits projets*

Anglais  
Entreprise et Management

# Méthodes pédagogiques

- Projets
  - Projet de modélisation pluridisciplinaire
  - Projet d'initiation
  - Projet industriel
  - Projet final
  - ... et des projets dans les modules d'enseignement
- Pédagogie inversée
- Apprentissage par problème



# *Les stages*

- Année 3
  - 4 semaines minimum
  - En entreprise
  - *Découverte de l'entreprise*
- Année 4
  - 8 semaines minimum
  - Entreprise ou laboratoire
  - *Contenu technique*
- Année 5
  - 24 semaines minimum
  - Entreprise ou laboratoire
  - Si stage année 5 en laboratoire : 14 semaines minimum en entreprise
  - *Une mission de niveau ingénieur*

# *Mobilité internationale + TOEIC*

- 8 semaines minimum à l'étranger sur l'ensemble du cursus universitaire (sauf cas particuliers)
  - Stage
  - Semestre 9 (1<sup>er</sup> semestre année 5)
- TOEIC : 785 minimum
  - en 4<sup>ème</sup> ou 5<sup>ème</sup> année
  - ou dans les deux années qui suivent la fin des études

# Environnement

- Sorbonne Université
  - Laboratoire Jacques Louis-Lions (LJLL, UMR 7598)
  - Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6, UMR 7606)
  - Laboratoire de Probabilités, Statistique et Modélisation (LPSM, UMR 8001)
  - Laboratoire d'Informatique Médicale et d'Ingénierie des Connaissances en e-Santé (LIMICS, UMRS 1142)
  - Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD)
  - Sorbonne Center for Artificial Intelligence (SCAI)
  - Institut Carnot SMILES
  - Tremplin Carnot Interfaces



# *Environnement*

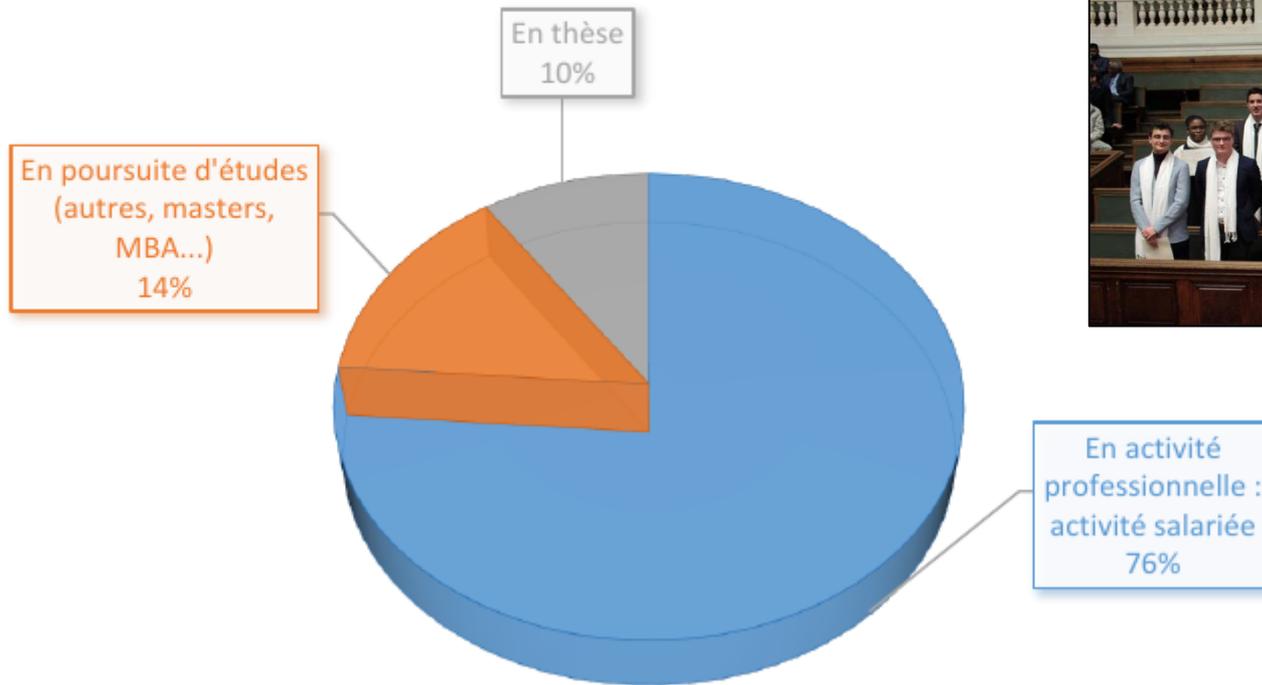
- Relations avec le tissu industriel
  - Projets industriels (MAIN4) : L'Oréal, IPFEN, Coventor, Renault, CEA, IBM, Quantmetry, Air France, APHP...
  - Conférences : Renault, Airbus, CGG, Safety-Line, Oberthur, INRIA
  - Stages
  - Forum Emploi Maths
  - Atrium des métiers
  - Simulation d'entretiens



# Vos prédécesseurs

2<sup>ème</sup> promotion diplômée (2019)

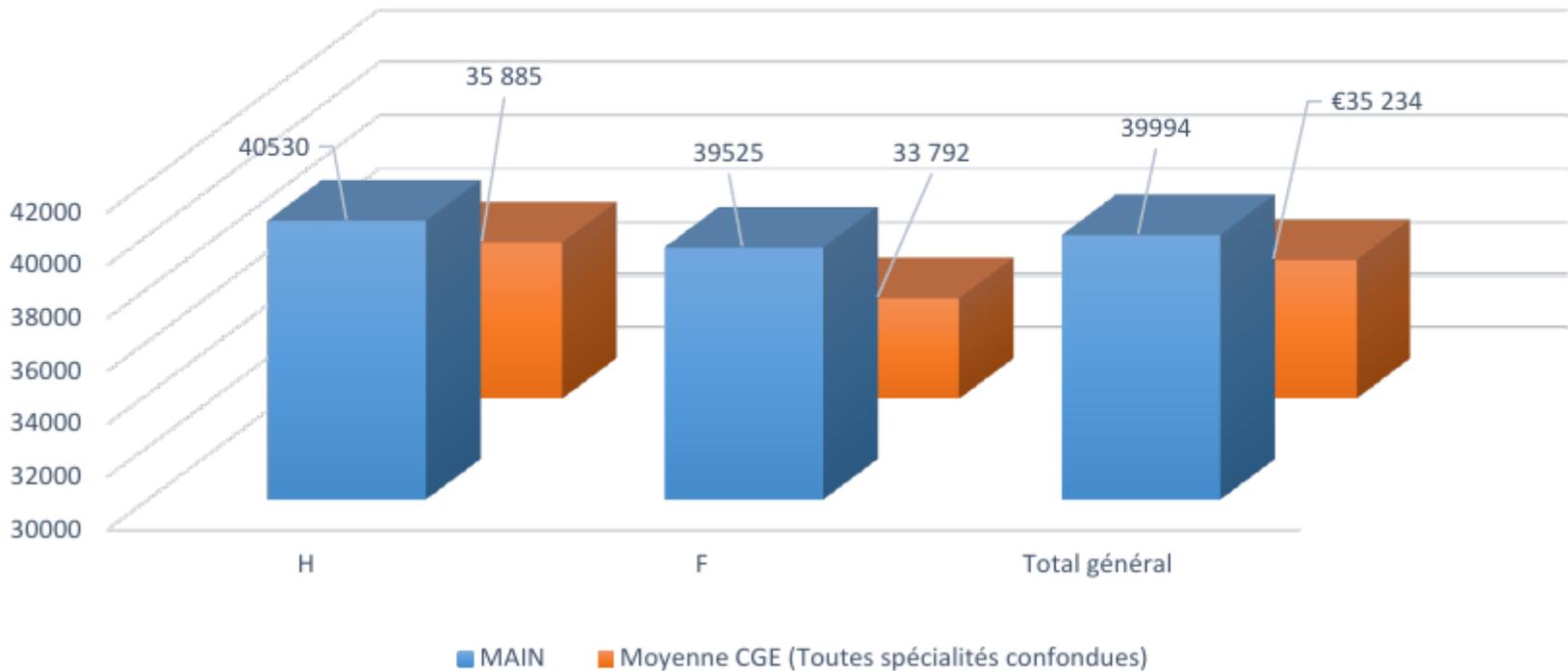
QUE FONT AUJOURD'HUI LES DIPLOMÉS 2019 DE LA  
SPÉCIALITÉ 2019 MAIN ?



# Vos prédécesseurs

2<sup>ème</sup> promotion diplômée (2019)

Salaire annuel brut moyen (hors primes)  
MAIN promo 2019



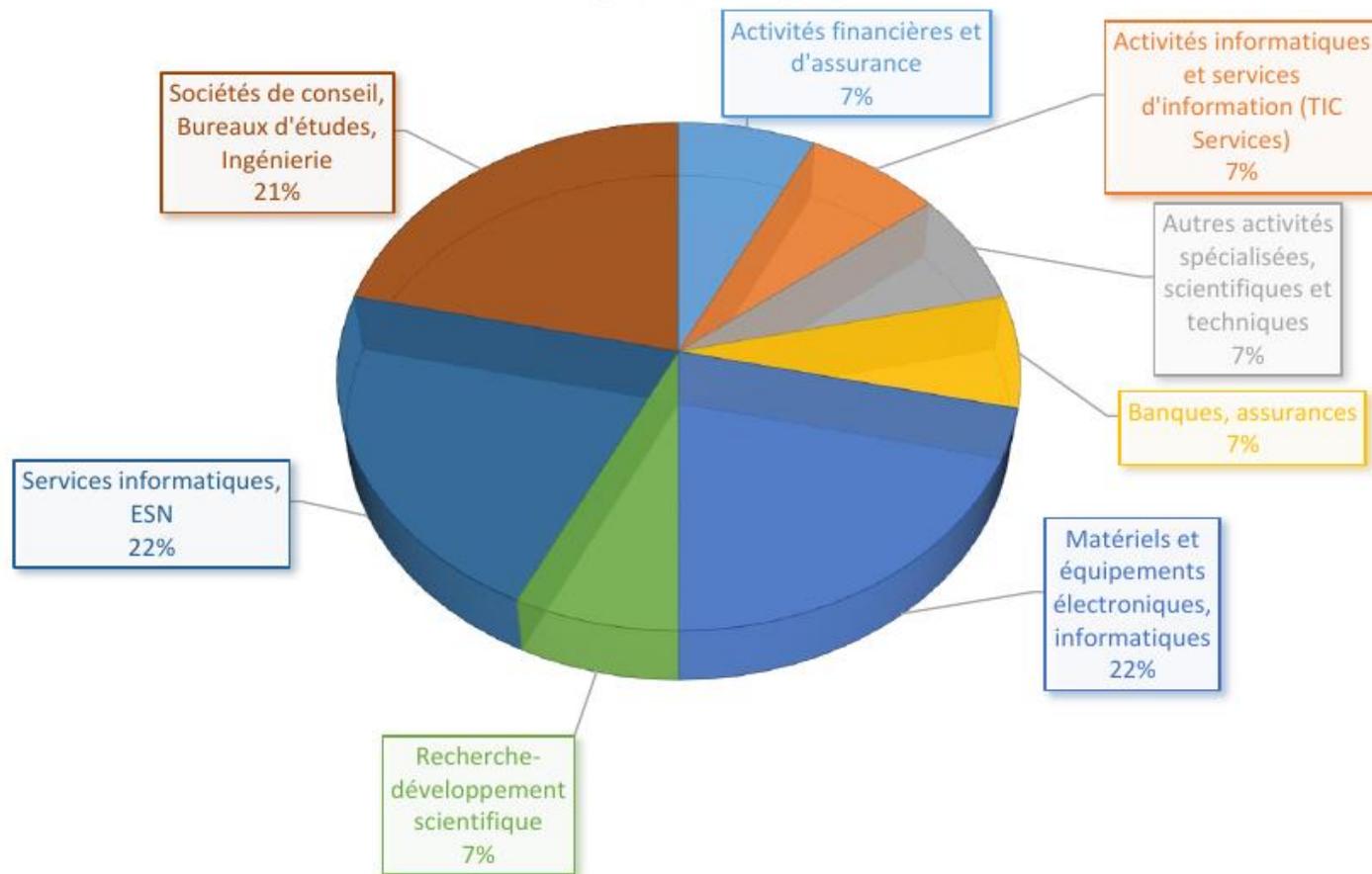
*Temps moyen de recherche d'emploi  
après le stage : 1 mois*

*Taux d'embauche à 6 mois :  
100 %*

# Vos prédécesseurs

2<sup>ème</sup> promotion diplômée (2019)

## SECTEUR D'ACTIVITÉ DES ENTREPRISES RECRUTANT DES MAIN 2019



# Projets de modélisation

- De la Terre à la Lune à la voile
- Prévoir El Nino
- Comment savoir s'il va pleuvoir demain
- À la recherche des nouvelles espèces
- Les lois de la sélection naturelle
- Les planètes habitables
- La course de dominos
- La forme des montgolfières
- ...

Etude de la synchronisation d'un système de métronomes posés sur un support ayant un degré de liberté



Fadwa ALOZADE, David DANIELI, Lucas GAUDELET, Jean-Tupac QUIROGA

### Equation de Van Der Pol

• Pour 1 métronome

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{m r_{c.m.} g}{I} \sin \theta + \left[ \epsilon \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^2 - 1 \right] \frac{d\theta}{dt} + \left( \frac{r_{c.m.} m \cos \theta}{I} \right) \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Mouvement du pendule      Terme de Van der Pol      Echappement du métronome      Effet sur le mouvement de la base

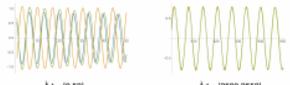
• Pour un couple de métronomes

$$\begin{cases} \frac{d^2\theta_1}{dt^2} + (1 + \Delta) \sin \theta_1 + \mu \left( \frac{\theta_1}{\theta_0} \right)^2 - 1 \frac{d\theta_1}{dt} - \beta \cos \theta_1 \frac{d^2}{dt^2} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) = 0, \\ \frac{d^2\theta_2}{dt^2} + (1 - \Delta) \sin \theta_2 + \mu \left( \frac{\theta_2}{\theta_0} \right)^2 - 1 \frac{d\theta_2}{dt} - \beta \cos \theta_2 \frac{d^2}{dt^2} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) = 0. \end{cases}$$

### Modélisation de 3 métronomes

Pour 3 métronomes, on utilise un système de 3 équations de Van der Pol, itéré avec un autre angle d'oscillation.

Représentation des différents  $\theta$  :



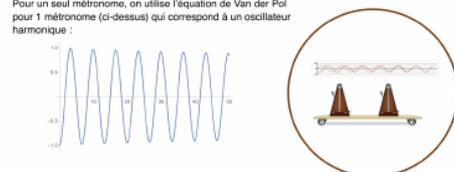
A1 = [0, 50]      A1 = [2500, 2550]

### Cas particuliers

- Cas 1 : on prend 2 métronomes, l'un est lâché à  $\Theta = \pi$ , l'autre à 0 (il n'est donc pas lâché, il n'a pas d'oscillation initiale). On remarque que la différence de phase augmente un peu avant de diminuer et de tendre vers 0 (ils se synchronisent donc).
- Cas 2 : on prend 2 métronomes en opposition de phase. L'un est lâché à  $\Theta = \pi$  et l'autre à  $\Theta = -\pi$ . On prend  $\Delta = 10^{-3}$ . On observe que la différence de phase est initialement constante et l'évolution est quasiment nulle, elle augmente par la suite à la sortie de l'antiphase beaucoup plus rapidement et tend vers 0. La position dans laquelle sont les métronomes initialement peut être caractérisée d'instable.
- Cas 3 : on prend 3 métronomes, 2 sont en phase, le dernier en antiphase. Les deux métronomes en phase sont lâchés à  $\Theta = \pi$  et l'autre à  $\Theta = -\pi$ . On prend  $\Delta = 10^{-3}$ . On remarque une évolution similaire au cas 1, néanmoins cette synchronisation est plus rapide.

### Modélisation d'un seul métronome

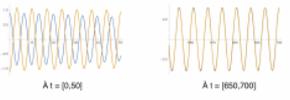
Pour un seul métronome, on utilise l'équation de Van der Pol pour 1 métronome (ci-dessus) qui correspond à un oscillateur harmonique :



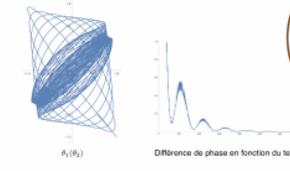
### Modélisation de 2 métronomes

Pour 2 métronomes, on utilise le système d'équations de Van der Pol couplé (ci-dessus).

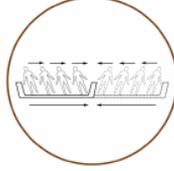
Représentation des différents  $\theta$  :



A1 = [0, 50]      A1 = [850, 700]



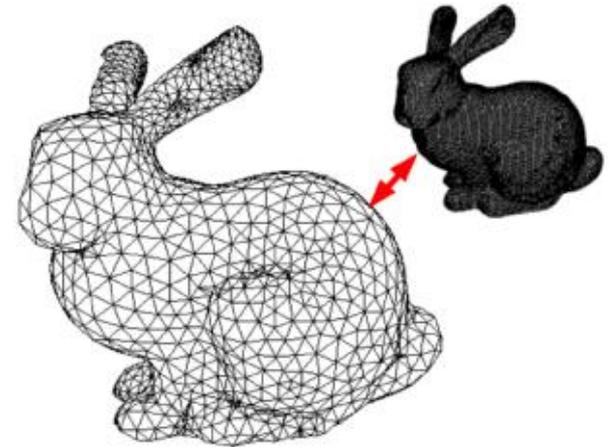
$\theta_1, \theta_2$       Différence de phase en fonction du temps



# Projets d'initiation

## Représentation et opérations sur des surfaces discrètes

Comment calculer de manière optimale la distance séparant deux maillages en trois dimensions de l'espace ?



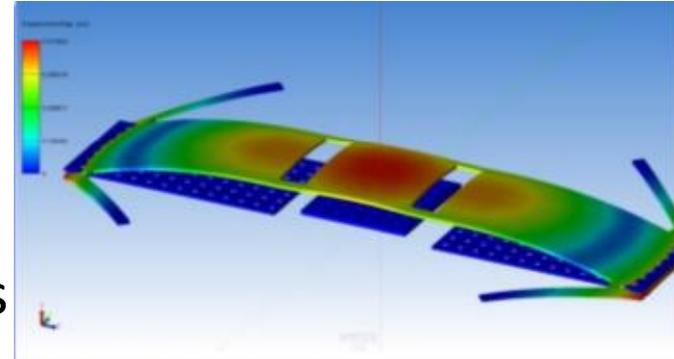
## Table de billard, jeu de miroirs et modèle de gaz

Quelles propriétés aura **la trajectoire d'une boule de billard**, en fonction de la façon dont elle est lancée au départ mais aussi de la forme de la table ?

Le but est de traiter ce problème d'un point de vue numérique.

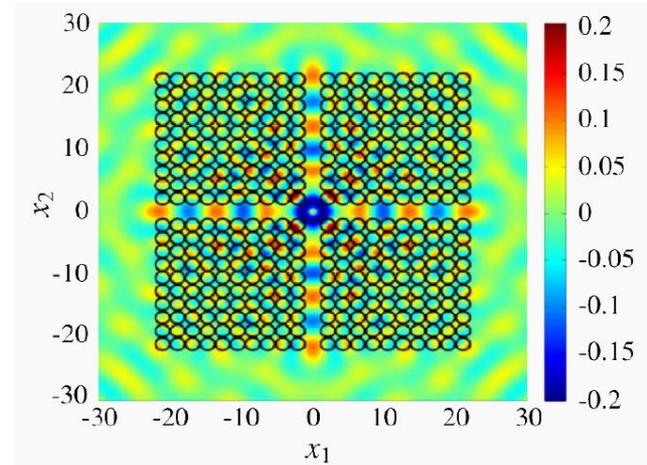
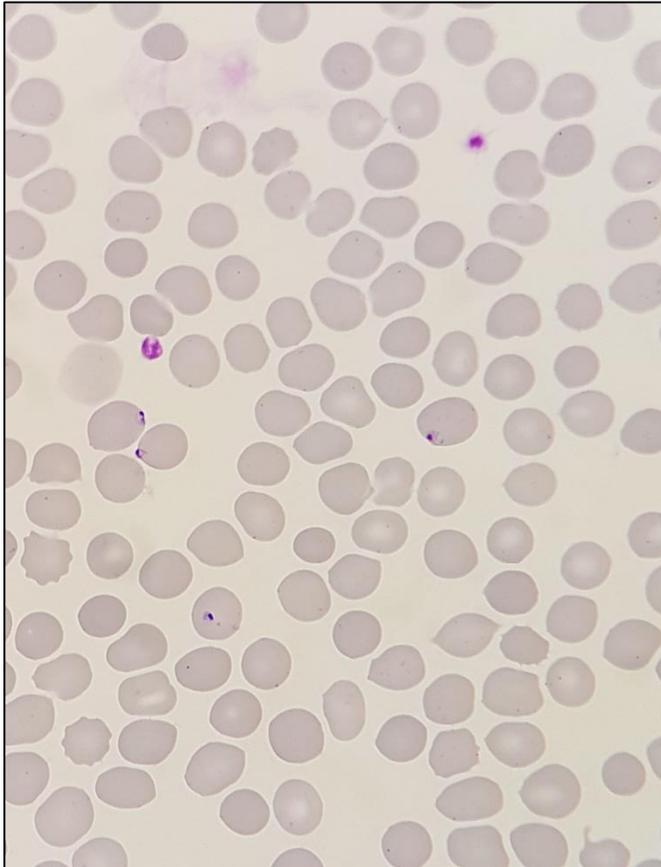
# *Projets industriels (année 4)*

- Un coach sportif pour corriger les mouvements
- Optimisation de paramètres matériaux pour la modélisation de plaques perforées
- Analyser les questions des députés à l'Assemblée
- Classification d'événements observés depuis le nanosatellite Meteorix
- Compression de données appliquée au calcul d'aérodynamique véhicule
- Optimisation des plannings des pilotes
- Modélisation et simulation d'un réseau énergétique optimisé
- ...



# Projets années 5

Diffraction multiple par des disques



Détection du paludisme sur les frottis sanguins (comptage des globules rouges infectés)

# Projets années 5

## Analyse des questionnaires patients à l'APHP

me suis fais engueuler parce que une medecin d'un autre hopital m'avit cosneille de venir ches vous parce que c'était spécialisé poru les personnes agées alor sque nous avons eu une première consurltation à G Roussy. Je n'aurai pas du suivre leur sonseiletc.. d'ou mon effondrement et mes pleurs alors que la situation de ma manman est déjà bien compliquée.

## Blockchain et réalité virtuelle

