

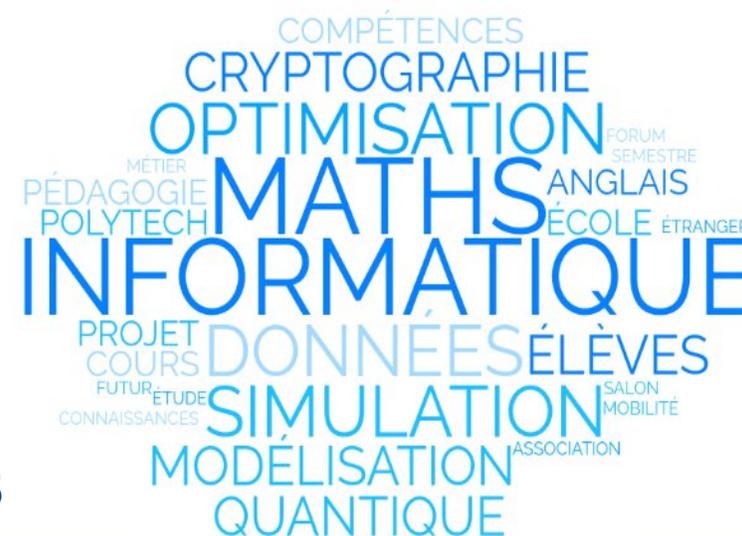
Polytech Sorbonne

Spécialité Mathématiques Appliquées et Informatique (MAIN)



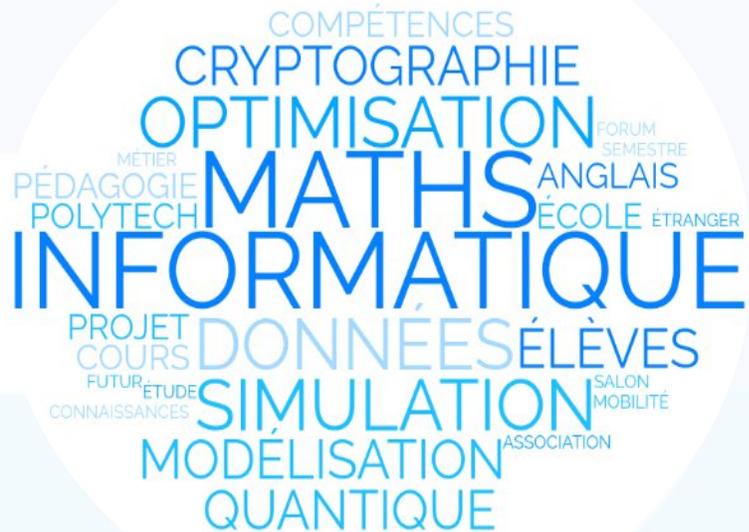
Xavier Tannier
responsable de la spécialité

xavier.tannier@sorbonne-universite.fr



2025

MAIN



Responsable de la Spécialité

Xavier TANNIER
Responsable de la spécialité

Gestionnaire pédagogique

Catherine PARES

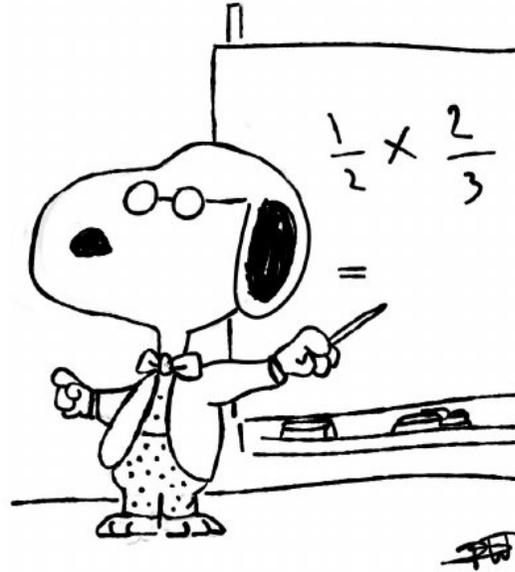
Coordinateur d'année

Anna BONNET
Enseignante-chercheuse en mathématiques
Coordinatrice de l'année 3

Fanny VILLERS
Enseignante-chercheuse en mathématiques
Coordinatrice de l'année 4

Xavier TANNIER
Enseignant-chercheur en informatique
Coordinateur de l'année 5

Objectifs

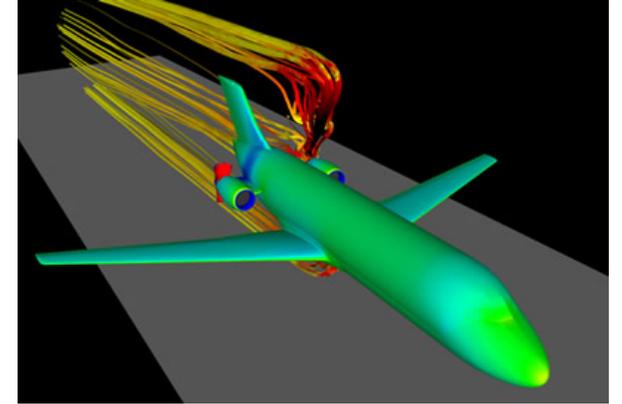


“Nous avons besoin d’ingénieurs comprenant les modèles mathématiques des phénomènes et capables de les implémenter au mieux sur des machines de calcul intensif. Nous rencontrons de grandes difficultés à trouver ce type de profil.”

Michel Teyssedre, IBM, 2012

Calcul scientifique

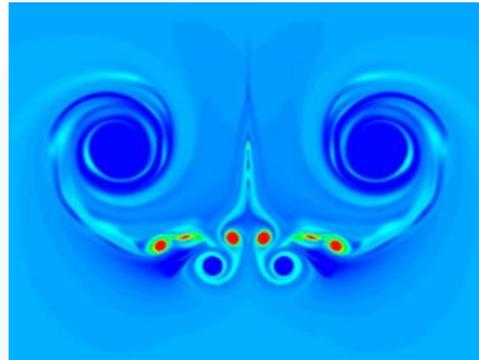
- Modélisation (formalisme mathématique)
- Étude mathématique (modèle bien posé ?)
- Analyse numérique
 - développement d'algorithmes
- Développement informatique
 - Tirer parti des progrès des technologies et de l'accessibilité des ressources de calcul (calcul parallèle, super ordinateur, GPU ...)
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

Sécurité, Cryptographie

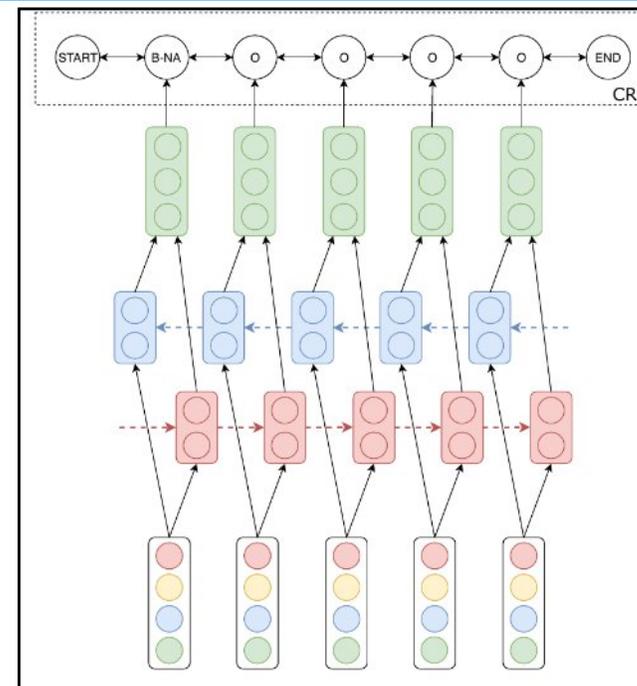
- Comment garantir la confidentialité, l'intégrité et l'authenticité des échanges à travers un canal non sécurisé ?
- Algorithmes à clé secrète, à clé publique, connaissance des principaux algorithmes
- Application dans le monde réel : attaques et parades



⇒ 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

Objectif de la formation : activités visées

Activités liées à la gestion de projets informatiques

- Conçoit, implémente, documente et maintient des logiciels, notamment intégrant des données structurées ou non structurées, dans le cadre d'un projet en équipe.

Activités liées à la science des données

- Analyse les données en utilisant des méthodes statistiques classiques.
- Met en œuvre des projets autour de la science des données : recueil des besoins, identification, collecte et traitement des données pertinentes, choix des algorithmes, validation.

Activités liées à la sécurité des données

- Garantit l'intégrité et la sécurité des données numériques (chiffrement, signature, authentification, etc.) à l'aide des méthodes et des algorithmes de cryptologie.

Activités liées à l'optimisation des algorithmes

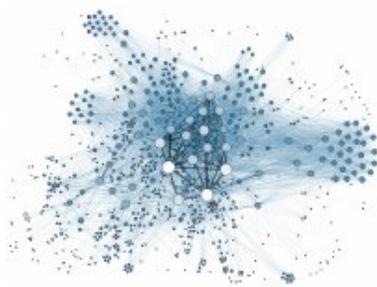
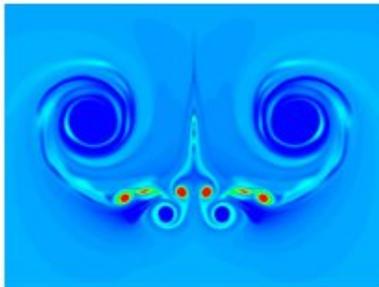
- Optimise des algorithmes pour réduire leur temps d'exécution, la mémoire utilisée, l'impact sur l'environnement.
- Modélise des problèmes pratiques impliquant l'optimisation d'un critère.
- Conçoit, implémente et optimise des programmes parallèles dans des architectures classiques ou hétérogènes (calcul haute performance).

Activités liées à la modélisation et la simulation

- Utilise et adapte les outils mathématiques et les environnements de développement pour la modélisation et la simulation.

Ingénieur en mathématiques et informatique ?

- Secteurs
 - Aéronautique, Transports, Énergie, 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...



Compétences

Réaliser un projet d'implémentation et de documentation d'un logiciel intégrant des données structurées ou non structurées.

- Choisir, implémenter et adapter des algorithmes avancés pour résoudre des problèmes dans le cadre d'un projet en équipe
- Spécifier, concevoir et développer des logiciels en employant des techniques de gestion de projet
- Documenter ces logiciels et communiquer sur leurs fonctionnalités de façon professionnelle, à l'écrit comme à l'oral, notamment dans un contexte anglophone
- Utiliser les principes fondamentaux de l'architecture des ordinateurs et des systèmes d'exploitation
- Estimer la complexité (en temps et espace) d'un algorithme
- Mettre en place, interroger et maintenir une base de données
- Implémenter et optimiser des programmes parallèles sur des architectures classiques

Réaliser et rendre compte d'une étude d'analyse des données métier de l'entreprise ou de ses clients, avec des modèles probabilistes ou statistiques, pour supporter l'aide à la décision

- Estimer la pertinence des modèles mathématiques, probabilistes, statistiques qui sous-tendent les algorithmes usuels en analyse de données pour l'étude visée
- Apprécier les limites d'une approche mathématique ou statistique et identifier les sources de variabilité et d'incertitude, en fonction des données spécifiques de l'étude
- Appliquer des méthodes de réduction de dimension
- Mettre en place des méthodes statistiques qui permettent de prendre une décision sur la base d'un échantillon de données et d'un modèle adapté.
- Estimer la pertinence des méthodes choisies en fonction des besoins de l'entreprise ou du client, du niveau de confidentialité des données, de la réglementation nationale et internationale en la matière
- Fournir une estimation de l'incertitude d'un modèle et la documenter de façon professionnelle, notamment dans un contexte anglophone

Compétences

Mettre en œuvre un système de classification, de prédiction pour un besoin métier de l'entreprise ou d'un client de l'entreprise

- Appliquer une approche multidisciplinaire à des problématiques issues de domaines variés, en intégrant à sa réflexion les besoins et moyens de l'organisation
- Appliquer une démarche scientifique pour traduire et résoudre des problèmes complexes, nouveaux ou incomplètement définis
- Estimer les impacts et problématiques liés aux données de grande dimension
- Communiquer les résultats (mode expert ou grand public) par un rapport d'analyse statistique et des méthodes de visualisation des données de façon professionnelle, notamment dans un contexte anglophone
- Mettre en place des méthodes statistiques qui permettent de prendre une décision sur la base d'un échantillon de données et d'un modèle adapté
- Développer et interpréter un modèle d'apprentissage statistique
- Sélectionner un algorithme ou un modèle d'apprentissage et optimiser les valeurs de ses paramètres
- Concevoir et piloter un projet de sciences des données, animer et faire évoluer une équipe en employant des techniques de gestion de projet
- Estimer l'impact sur l'environnement des systèmes de classification et de prédiction mis en œuvre

Sécuriser le système d'information d'une organisation et de ses partenaires

- Appliquer les moyens algorithmiques permettant de sécuriser les données numériques et outils permettant d'assurer l'intégrité des données et de protéger les informations sensibles.
- Déployer des outils cryptographiques dans des protocoles réseaux d'une entreprise, en tenant compte de ses moyens et de son environnement
- Concevoir et piloter un projet de cyber-sécurité, animer et faire évoluer une équipe en employant des techniques de gestion de projet (et d'équipe)
- Intégrer l'estimation et la gestion des risques dans les différents protocoles de sécurité
- Documenter les solutions mises en œuvre de façon professionnelle, notamment dans un contexte anglophone
- Communiquer auprès des utilisateurs sur les enjeux de la sécurité des systèmes d'information, notamment dans un contexte anglophone
- Appliquer une démarche scientifique pour traduire et résoudre des problèmes complexes, nouveaux ou incomplètement définis.
- Expliquer les enjeux de la sécurité post-quantique
- Tenir compte des enjeux internationaux de la cyber-sécurité

Compétences

Optimiser un algorithme ou un logiciel sur une architecture classique ou massivement parallèle, en s'adaptant aux besoins et aux moyens disponibles

- Appliquer une démarche scientifique pour traduire et résoudre des problèmes complexes, nouveaux ou incomplètement définis.
- Apprécier les limites et différences entre des algorithmes d'optimisation exactes et approchée
- Estimer la complexité (en temps et espace) d'un algorithme et la documenter de façon professionnelle, notamment dans un contexte anglophone
- Choisir et implémenter les méthodes d'optimisation linéaire et non linéaire continue en présence ou pas de variables entières
- Implémenter et optimiser des programmes parallèles sur des architectures classiques, en s'adaptant aux moyens de l'organisation
- Implémenter et optimiser des programmes parallèles sur des architectures hétérogènes et massivement parallèles (GPU, clusters de calcul..), en s'adaptant aux moyens de l'organisation
- Concevoir et piloter un projet d'optimisation d'algorithmes, animer et faire évoluer une équipe en employant des techniques de gestion de projet
- Estimer l'impact sur l'environnement des optimisations d'algorithme mises en œuvre

Simuler et modéliser mathématiquement et numériquement un phénomène ou un système complexe, rendre compte des résultats, notamment dans un environnement de recherche et de développement

- Appliquer une approche multidisciplinaire à des problématiques issues de domaines variés
- Appliquer une démarche scientifique pour traduire et résoudre des problèmes complexes, nouveaux ou incomplètement définis
- Concevoir, mettre en œuvre, et exploiter des simulations pour illustrer un résultat théorique ou pour comprendre un phénomène concret
- Adapter un modèle aux besoins et aux moyens d'une organisation
- Fournir une estimation de l'incertitude d'un modèle et la documenter de façon professionnelle, notamment dans un contexte anglophone
- Mettre en équations des phénomènes physiques linéaires (diffusion, ondulatoires, transport)
- Appliquer les techniques de résolution des équations aux dérivées partielles
- Appliquer les méthodes d'approximation pour la résolution de systèmes non linéaires
- Appliquer les outils mathématiques et les environnements de développement pour la simulation
- Optimiser les méthodes et les protocoles adaptés au problème, par exemple en fonction du phénomène physique étudié ou de la nature et de la quantité des données disponibles
- Concevoir et piloter un projet de simulation, animer et faire évoluer une équipe en employant des techniques de gestion de projet

Développement Durable et Responsabilité Sociétale (DDRS)

UE commune 3^{ème} année

- 🔄 Cycle de conférences et de débats
- 🔄 Orienté « constat »

UE « éthique et transition » en S6

- 🔄 Un projet d'analyse de données en lien avec l'éthique ou l'environnement

MAINTAINS
Séries de séminaires
"éthique et environnement"

En toile de fond de certaines activités

- 🔄 Optimisation, calcul haute performance

Réflexion lors des projets et stages

« Ajoutez dans les rapports une section sur les impacts environnementaux du sujet et de l'entreprise, ainsi que le cas échéant les impacts éthiques et/ou sociétaux. Vous pouvez présenter des cas concrets que vous avez vécus pendant votre stage ou votre projet, mais aussi des considérations plus générales sur l'équipe, l'entreprise ou le domaine d'application. Les points soulevés peuvent être positifs ou négatifs, ou simplement des questions que vous vous posez sans y apporter de réponse.

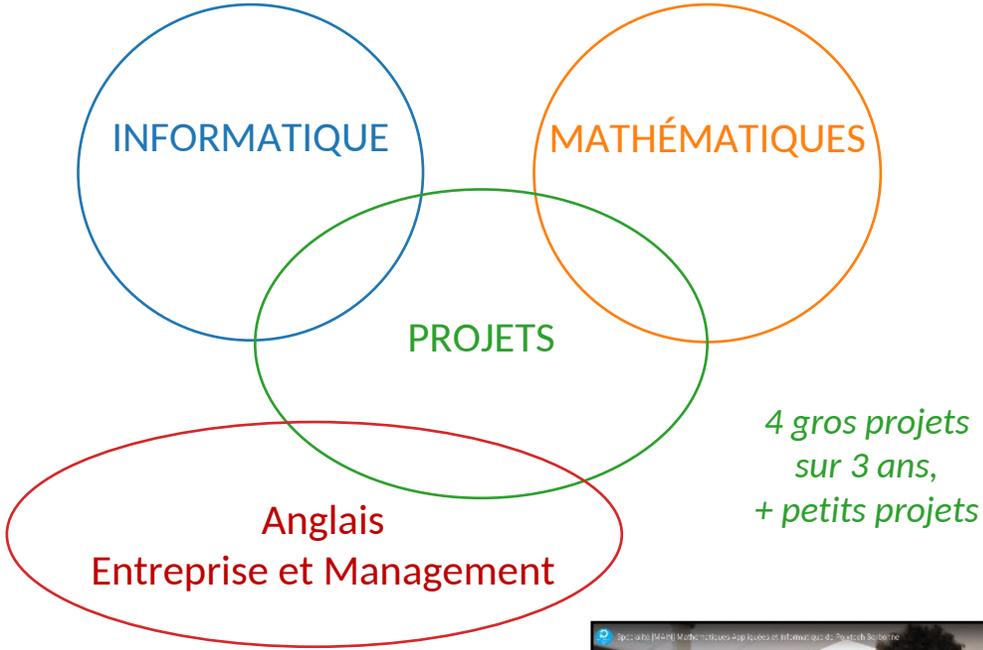
Il ne s'agit PAS de répéter les éléments de langage sur la politique RSE de l'entreprise.

Il s'agit principalement pour vous de mesurer l'accord entre votre travail et vos valeurs de citoyen. »

Le parcours

MAIN 3	Analyse fonctionnelle, analyse numérique Probabilités Algorithmique et Programmation (C, python) Anglais, Entreprise & Management	Stage « de découverte de l'entreprise » 4 semaines
MAIN 4	Algorithmique avancée Statistiques, analyse de données Modélisation (Fourier, EDP) Optimisation, Calcul haute performance, Sécurité Projet industriel	Stage « technique » 8 semaines
MAIN 5	Apprentissage statistique Calcul haute performance et optimisation avancées Cryptographie avancée Informatique quantique Projet final	Stage « ingénieur » 24 semaines

Contrats pro



4 gros projets sur 3 ans, + petits projets



Le parcours

MAIN 3	Analyse fonctionnelle, analyse numérique Probabilités Algorithmique et Programmation (C, python) Anglais, Entreprise & Management
	Stage « de découverte de l'entreprise » 4 semaines
MAIN 4	Algorithmique avancée Statistiques, analyse de données Modélisation (Fourier, EDP) Optimisation, Calcul haute performance, Sécurité Projet industriel
	Stage « technique » 8 semaines
MAIN 5	Apprentissage statistique Calcul haute performance et optimisation avancées Cryptographie avancée Informatique quantique Projet final
	Stage « ingénieur » 24 semaines

Contrats pro

PROJETS

- Projet de modélisation pluridisciplinaire
- Projet d'initiation
- Projet industriel
- Projet final
- ... et des projets dans les modules d'enseignement



Le parcours

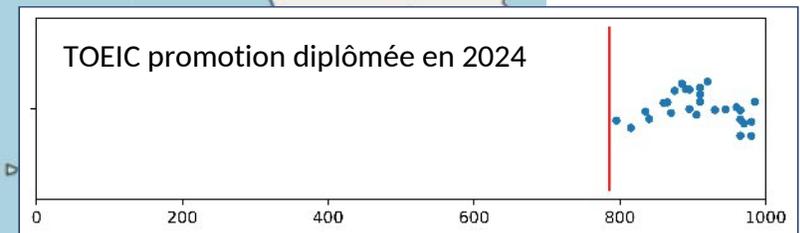
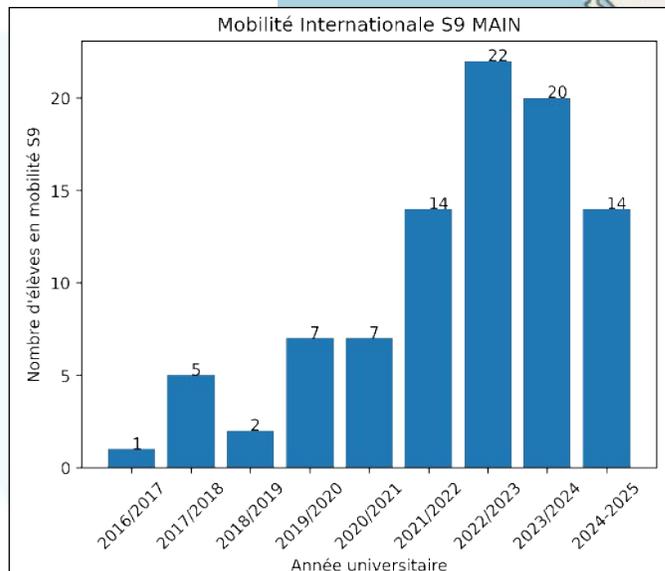
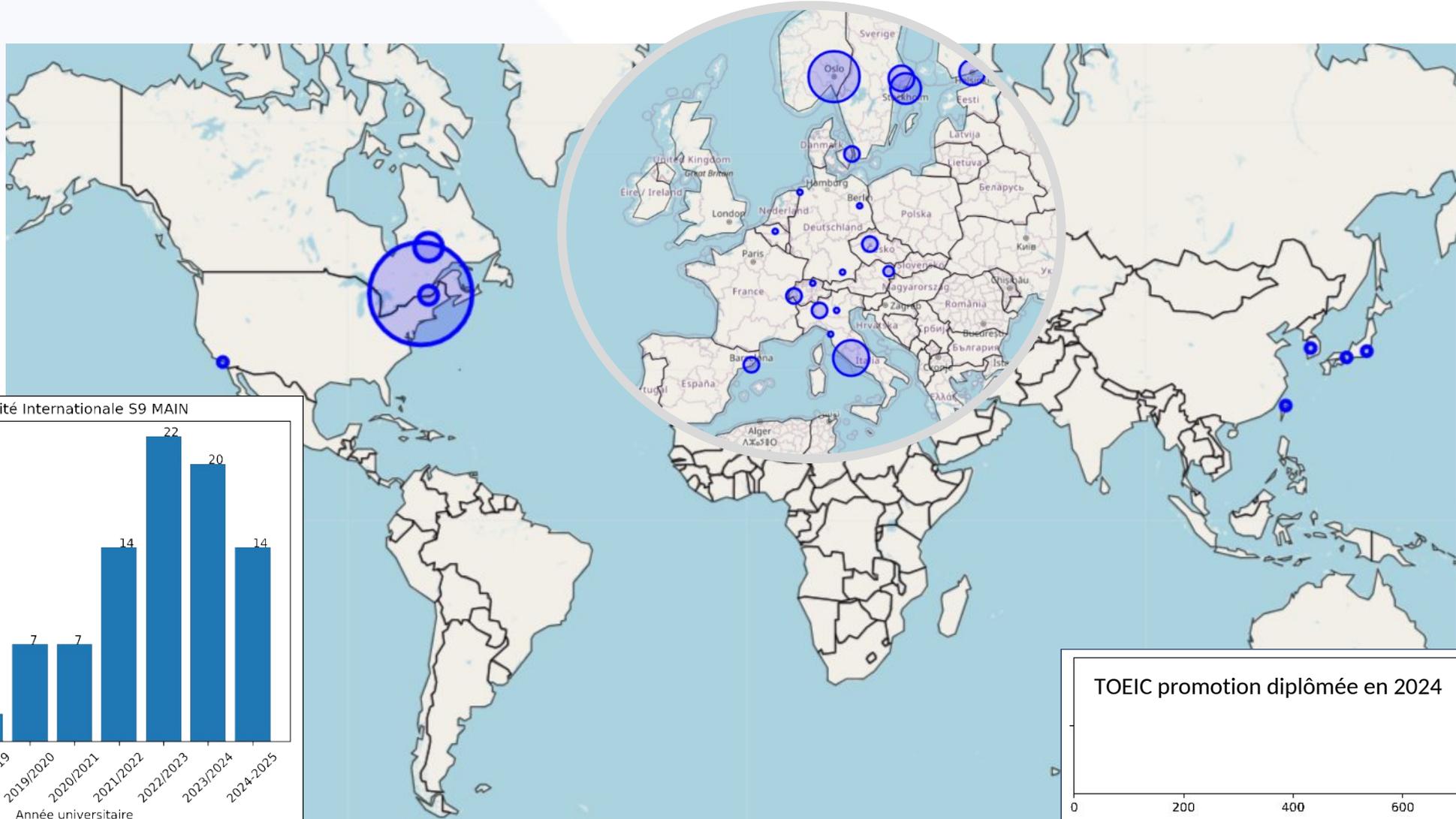
MAIN 3	Analyse fonctionnelle, analyse numérique Probabilités Algorithmique et Programmation (C, python) Anglais, Entreprise & Management
	Stage « de découverte de l'entreprise » 4 semaines
MAIN 4	Algorithmique avancée Statistiques, analyse de données Modélisation (Fourier, EDP) Optimisation, Calcul haute performance, Sécurité Projet industriel
	Stage « technique » 8 semaines
MAIN 5	Apprentissage statistique Calcul haute performance et optimisation avancées Cryptographie avancée Informatique quantique Projet final
	Stage « ingénieur » 24 semaines

Mobilité internationale obligatoire — 16 semaines



Contrats pro

Mobilité semestre 9



Contrat de professionnalisation en 5A

- Possibilité de faire la 5ème année en alternance :
 - 2 jours en entreprise / 3 jours à l'école par semaine
 - Deuxième semestre totalement en entreprise
 - Pas de projet au S9, pas de stage au S10



Environnement

Sorbonne Université

- Laboratoire Jacques Louis-Lions (LJLL)
- Laboratoire d'Informatique (LIP6)
- Laboratoire de Probabilités, Statistique et Modélisation (LPSM)
- Laboratoire de recherche en informatique pour la Santé (Limics)

- Institut des Sciences du Calcul et des Données (ISCD)
- Sorbonne Center for Artificial Intelligence (SCAI)

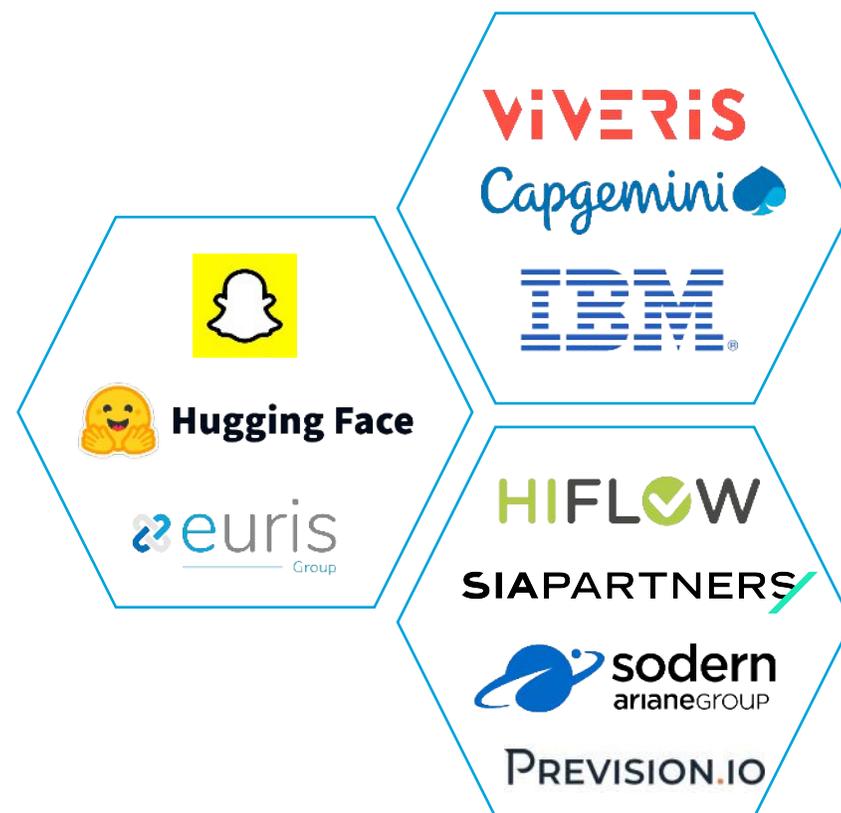


Environnement

Stages MAIN 4&5



Projets année 4 et intervenants

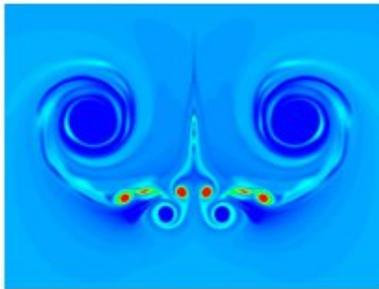


Les élèves



Étudiants MAIN

- 24 places en MAIN 3
- Provenances :
 - PEIP A (18 environ)
 - L2
 - CPGE
 - Étranger
- Entre 25 et 40 % de filles selon les promos



Promotion diplômée en 2024

- Promotion diplômée en 2024 :
 - 26 étudiant.e.s
 - 6 en poursuite d'études
- Les salaires à 6 mois (diplômé.e.s 2023)

Année d'enquête 2024		Femmes	Hommes	Total général
Médiane	Hors prime	41 500 €	40 500 €	41 000 €
	Avec primes	44 000 €	41 250 €	41 750 €
Moyenne	Hors prime	40 333 €	40 200 €	40 250 €
	Avec primes	44 000 €	41 000 €	42 125 €



Projets de modélisation (3A)

- 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

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

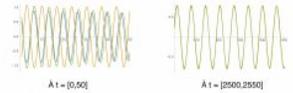
Mouvement du pendule; Terme de Van der Pol; Echappement du métronome; Effet sur le mouvement de la base

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

Modélisation de 3 métronomes

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

Représentation des différents θ :



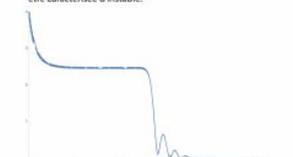
A1 = [0, 50] A1 = [2500, 2550]

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.

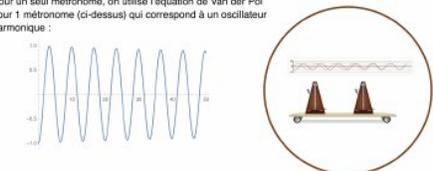


- Cas 3 : on prend 3 métronomes, 2 sont en phase, le dernier en antiphase. Les deux métronomes en phase sont lâchés à $\theta = \pi$ et l'autre à $\theta = -\pi$. On prend $\Delta = 10^{-3}$. On remarque une évolution similaire au cas 1, néanmoins cette synchronisation est plus rapide.



Modélisation d'un seul métronome

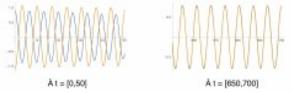
Pour un seul métronome, on utilise l'équation de Van der Pol pour 1 métronome (ci-dessus) qui correspond à un oscillateur harmonique :



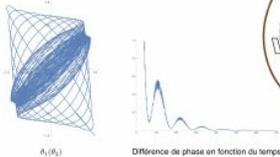
Modélisation de 2 métronomes

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

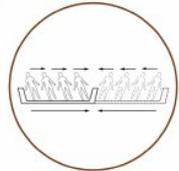
Représentation des différents θ :



A1 = [0, 50] A1 = [650, 700]



θ_1, θ_2 Différence de phase en fonction du temps



Projets d'initiation (3A)

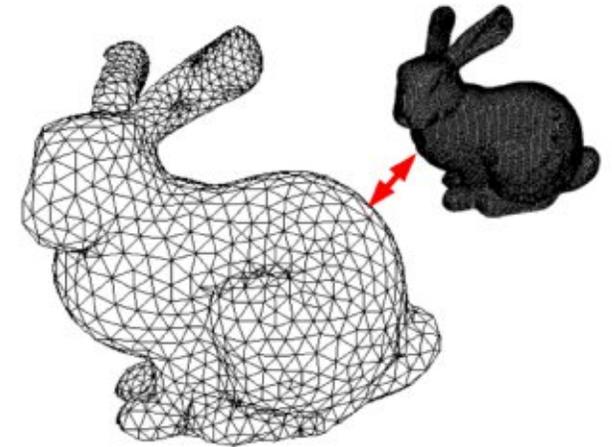
Représentation et opérations sur des surfaces discrètes

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

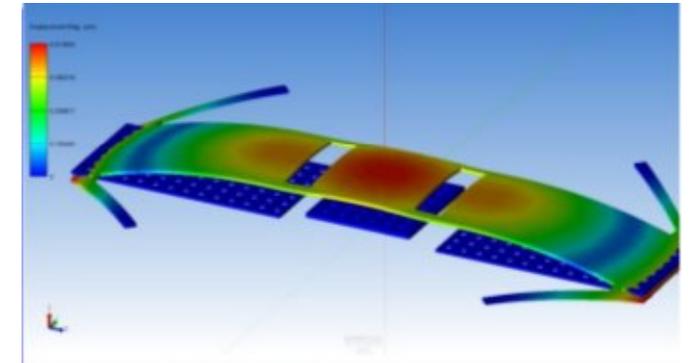
Quelles propriétés aura **la trajectoire d'une boule de billard**, en fonction de la façon dont elle est lancée au départ mais aussi de la forme de la table ?

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

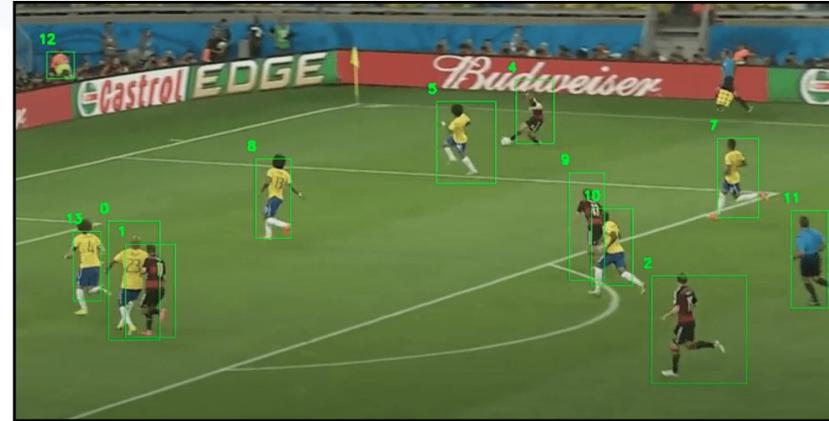


Projets industriels (4A)

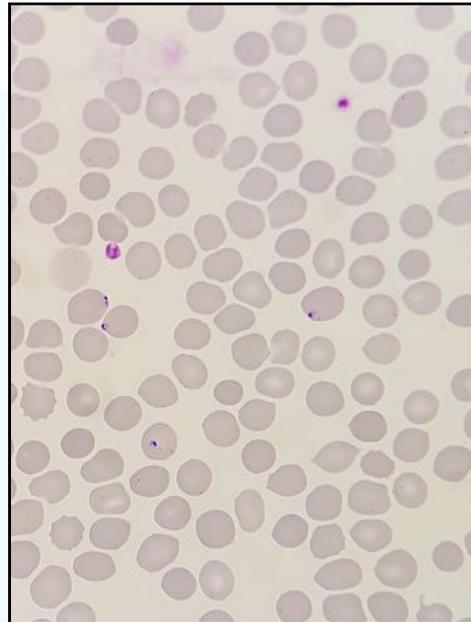
- Une application d'aide au tri par Intelligence artificielle
- Détection de flux observés depuis le nanosatellite Meteorix
- Un coach sportif pour corriger les mouvements
- Optimisation de paramètres matériaux pour la modélisation de plaques perforées
- Analyser les questions des députés à l'Assemblée
- Optimisation des plannings des pilotes
- Modélisation et simulation d'un réseau énergétique optimisé
- ...



Projets 5A



Détection des joueurs sur les vidéos de matchs de football



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

Un chatbot pour les futurs élèves de Polytech





Questions ?