

Du calcul haute performance à l'hôpital ?

Séminaire Médecine & Mathématiques du centre Borelli

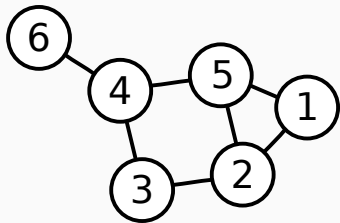
Jean Feydy

Équipe HeKA, Inria Paris, Inserm, Université Paris-Cité

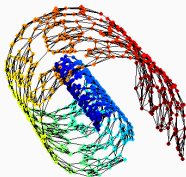
Mardi 2 mai 2023 – ENS Paris-Saclay

1. Contexte **technologique** : la révolution des **cartes graphiques**.
2. Contexte **humain** : un point triple **Info + Stats + Médecine**.
3. Retour d'**expérience** : un an de travail en **pharmaco-vigilance**.

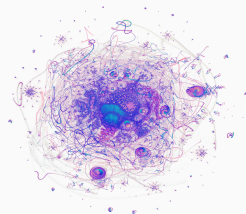
Contexte technologique



Graphe simple.



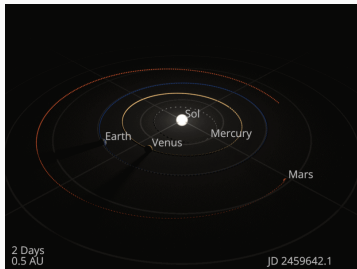
Surface sous-jacente.



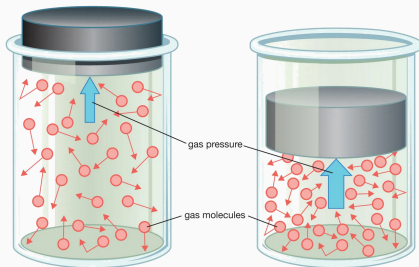
Visualisation avec UMAP.

Le **langage du continu** s'est invité en analyse de **données** :
gradient, densité, variété, fonction test...

Une longue histoire en physique [Dat18, Bri, NWRC22]



Le système **solaire**.



Le modèle des **gaz parfaits**.



Simulation **fluide**.

Recherche en **physique** $\iff$ **Supercalculateurs à Haute Performance**

Accès restreint aux **centres institutionnels**.

Une histoire récente dans l'industrie du cinéma et du jeu vidéo



FFVII sur la PS1 – 1997.



FFVII sur la PS4 – 2020.



Jensen Huang – 2022.

Recherche en **informatique graphique** $\iff$ **Graphics Processing Units**

Accessible à tout labo de recherche : impact révolutionnaire.

Le matériel est au cœur de la “révolution de l’IA”

Les statistiques et l'apprentissage machine sont étudiés depuis des **décennies**.

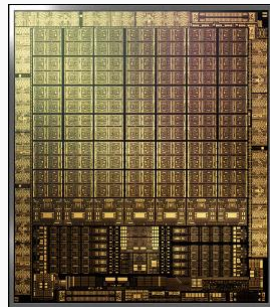
Percée en 2010-15 : utiliser des **PlayStations** pour faire de la **science** est devenu **facile**.

Effort de recherche à tous les niveaux vers:

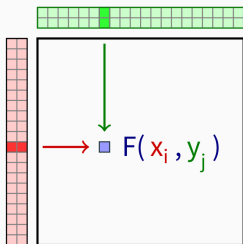
- Un **matériel** toujours plus puissant.
- Des **bibliothèques** toujours plus souples.
- Des **modèles** toujours plus pertinents.

Résultats **spectaculaires** obtenus dans quelques domaines

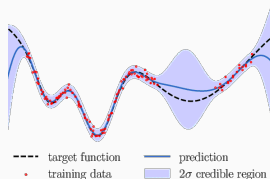
⇒ grands **investissements** publics et privés.



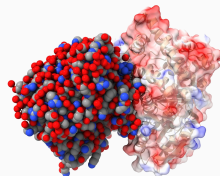
7,000 cœurs sur un GPU.



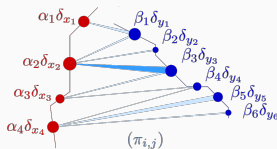
Matrices symboliques :
distances, noyaux,
transformées discrètes,
point convolutions,
attention...



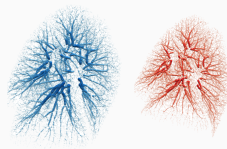
Processus gaussiens.



Docking de protéines.



Transport optimal.



Suivi de la respiration.

Contexte humain

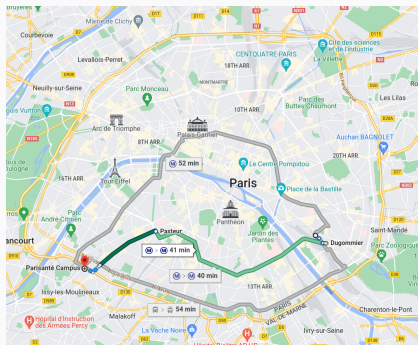
Hôpitaux

Inria Inserm

Universités



PariSanté Campus : de très beaux locaux pour la santé numérique



Mission : mettre en valeur les entrepôts de données publiques

Nos sources principales :

- Dossiers patients des Hôpitaux Pompidou et Necker.
- Banque Nationale de Données **Maladies Rares**.
- Données de l'**assurance maladie** – décret R 1461-12 du 29 juin 2021.

Soutien fort des tutelles pour
la recherche **méthodologique** **et** la **“simple” application** aux données.

⇒ Modèle de recherche **“translationnelle”** qui a fait ses preuves
au Royaume-Uni, en croissance à Inria.

À **Inria** – beaucoup de **liberté** :

- Titularisation à $\sim$ 30 ans.
- Recherche à temps plein, en télétravail.
- Soutien à des projets construits sur 5 ans.
- Équipes de **support** dédiées, compétentes et bienveillantes.

À l'**hôpital** – une forte **pression** :

- Titularisation à $\sim$ 40 ans.
- **Soin + Enseignement + Recherche**, de jour comme de nuit.
- *Publish or perish* assumé avec les points **SIGAPS**.
- Une **connexion internet stable** n'est **même pas** garantie !

Qu'est-ce qu'une **vérité scientifique** ?

- En maths : une **démonstration** formelle.
- En info : un logiciel bien **testé**.
- En médecine : un **consensus d'experts**... et de grandes responsabilités.

En médecine et en biologie, le “**prestige de la paillassé**” est immense.

Les **analystes** sont souvent perçus comme des “**planqués**” ou des **subalternes**.

Faire **évoluer les mentalités** est un défi pour notre domaine.

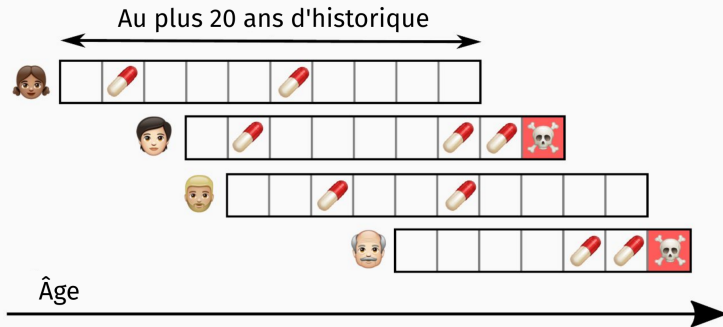
Prendre ces facteurs en compte est essentiel pour percer

Stratégie de **long terme**, permise par Inria :

1. **Comprendre** le consensus existant, longues discussions avec les médecins.
2. **Introduire** progressivement des outils modernes (GPUs...), parfaite **rétro-compatibilité** avec les méthodes standards.
3. Utiliser l'**expérience** et la **crédibilité** acquises pour introduire de **nouvelles méthodes**, lorsque c'est **nécessaire**.

Retour d'expérience en pharmaco-vigilance

L'analyse de survie : un problème de classification sur les séries temporelles



Problème fondamental pour :

- **Les usines** : quelle pièce sera la prochaine à casser ?
- **Les commerces** : quel client sera le premier à ne plus revenir ?
- **Les médecins** : quel patient sera le prochain à développer un cancer ?

Modèle standard : les risques proportionnels de Cox (1972).

Descripteurs qui dépendent du temps : Weighted Cumulated Exposures (WCE), ...

Implémentation : paquets `survival` et `WCE` pour R – 10M+ téléchargements.

Excellent packaging, mais sans support des cartes graphiques :

- Acceptable pour des essais cliniques (1k–10k patients).
- Prohibitivement **lent** pour des études à grande échelle, surtout si des variables dépendent du temps.

Projet Epi-Phare – 150k€ : passer à l'échelle de l'assurance maladie.

20 ans de “tickets de caisses” de **cartes vitales**, pour **70M+ de français**.

Étape 1 : implémentation sur cartes graphiques

Similarité frappante entre modèles de survie et d'apprentissage :

- Modèle de **Cox** = régression **logistique** sur un **graphe** (1 nœud = 1 patient).
- Weighted Cumulative Exposures = **kernel** features.

J'ai implémenté un **solveur GPU rapide** pour ces méthodes.

Alexis Van Straaten l'a empaqueté comme une **bibliothèque R**.

survivalGPU (pour R et Python) produit **exactement** la même sortie que les paquets standards **survival** et **WCE**, mais va **1,000 fois plus vite**.

Deux principales conséquences :

- **Passage à l'échelle** : travailler avec des **millions de patients** en quelques minutes.
- **Bootstrap et permutations** : répéter la même expérience 1,000 fois pour estimer des intervalles de confiance.

Étape 2 : obtenir l'accès aux données de l'assurance maladie (SNDS)

- Inria a reçu l'aval des autorités, par décret, en juin 2021.
- Inria a payé pour **ma formation d'une semaine** en Mai 2022 – merci !

Problème : le cloud Améli.fr n'est **pas pensé pour des méthodes originales.**

Configuration matérielle obsolète, avec seulement trois logiciels :

- Microsoft **Excel**.
- SAS (un système de requêtes **SQL**).
- **R** avec une collection **figée** de paquets standards.

Il nous faut absolument accéder à une machine moderne (GPU + Python + R),
répondant aux consignes de **sécurité** documentées par l'assurance maladie.

Étape 3 : obtenir l'accès à un ordinateur sécurisé...

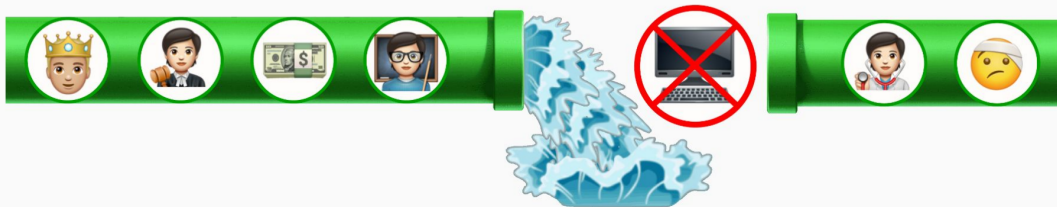
Nous bloquons sur ce point depuis **un an** :

- **Plan A** : notre requête au cloud de l'hôpital Pompidou a été rejetée.
- **Plan B** : nous avons acheté une **station de travail** moderne (5,600€)...
Avant de comprendre qu'il serait impossible de l'homologuer.
- **Plan C** : la DSI d'Inria travaille sur une solution de cloud sécurisé...
Mais ne pourra pas prioriser les **démarches spécifiques** à ces données.

Situation très **confuse** autour des clouds homologués :

- Les **anciennes procédures** ont été dépréciées.
- Les **nouveaux guichets** comme le Health Data Hub ne soutiennent que quelques **projets pilotes**.

On y est presque...



Le **travail accompli** sur la dernière décennie est **considérable**.

Mais la question de l'**infrastructure** numérique est un **angle mort** majeur.

L'information circule mal :

- Multiplication des procédures, **illisibles**.
- Les **directions** ne sont généralement pas conscientes du **blocage sur le terrain**.

L'**hôpital** est un environnement contrasté :

- Matériel de **science-fiction** en radiologie interventionnelle.
- “Le service n’a **pas accès à ses mails** aujourd’hui.”
- Des **médecins formidables**, dans des conditions aberrantes.

En tant que **chercheur Inria** :

- J’ai énormément appris au **contact des médecins, pharmaciens et statisticiens**.
- Je souhaite prioriser les projets **qui aident tous les français**.

Je suis **très optimiste** : plus qu’un **problème à régler** avant de pouvoir travailler.

References



Encyclopædia Britannica.

Ideal gas.

<https://www.britannica.com/science/ideal-gas>.



Datumizer.

Solar system orrery inner planets.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_system_orrery_inner_planets.gif,
2018.

CC BY-SA 4.0.

 Mohammad Sina Nabizadeh, Stephanie Wang, Ravi Ramamoorthi, and Albert Chern.

Covector fluids.

ACM Transactions on Graphics (TOG), 41(4):113:1–113:15, 2022.

 Gabriel Peyré.

The numerical tours of signal processing-advanced computational signal and image processing.

IEEE Computing in Science and Engineering, 13(4):94–97, 2011.



John Williamson.

What do numbers look like?

https://johnhw.github.io/umap_primes/index.md.html.