

# Quelques orientations futures du numérique

Gilles Dowek

## Avant de commencer

L'art de la prédiction est une chose difficile – surtout lorsqu'elle concerne le futur...

Le futur est ouvert

- ▶ parce qu'il dépend (partiellement) de choses que nous ne savons pas
- ▶ parce qu'il sera (partiellement) ce que nous en ferons

Cependant (quelques éléments de méthode)

- ▶ Un certain nombre de tendances qui n'ont pas l'air de ralentir
- ▶ Un certain nombre de mécontentements auxquels il faudra apporter des réponses

Les prédictions révèlent autant le futur que leur auteur

# Les quatre concepts de l'informatique

Faire exécuter des algorithmes par des machines

Cela demande d'exprimer les algorithmes dans un langage et ce sur quoi ils opèrent comme des données

I. À bas les algorithmes, vive les données

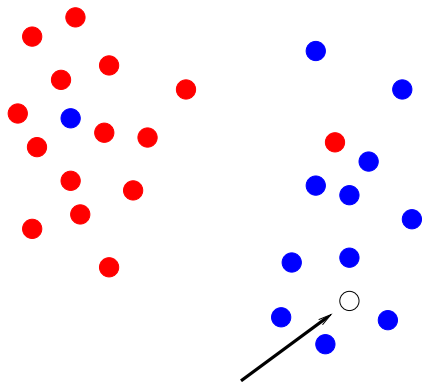
# Un paradoxe

Est-il difficile

- ▶ de multiplier deux nombres de mille chiffres ? (oui / non)
- ▶ de reconnaître un chat d'un chien ? (non / oui)

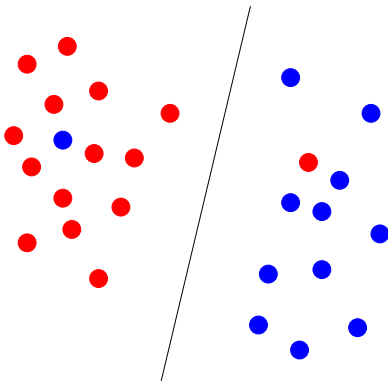


## Puis une solution



Distance moyenne aux points bleus vs. distance moyenne aux points rouges

Mais on ne calcule pas la distance moyenne à chaque nouveau point



“Apprendre” la frontière (pas forcément linéaire) à partir des données une fois pour toutes

Situer le nouveau point par rapport à la frontière

## Mais aussi des limites

Tout ce qui ressemble à un chien n'est pas un chien

Statistiquement correct

Véhicules sans conducteurs : tout est simple (trains, avions...) sauf l'analyse de la scène (voitures)

Faire confiance à un algorithme d'apprentissage ?



# Un éclairage sur nos propres processus d'apprentissage ?

Pour calculer une dérivée, il suffit de connaître l'algorithme

Pour “calculer” une primitive, il faut **avoir calculé** beaucoup de primitives

# Un nouveau paradigme ?

Souvent : des algorithmes complexes et des données petites

Évolue vers : des **disques** remplis de données et des algorithmes relativement simples pour les traiter

Chaque programme définit un mode de représentation des données  
→ des standards auxquels les programmes doivent s'adapter

# Une révolution dans les bases de données


Les chaînes de blocs

Registres (bases de données) réparties et infalsifiables

Toutes les activités consistant à tenir des registres (notariat, conservation des hypothèques, banque, émission de monnaie...) automatisés

# En quoi cela nous concerne ?

Apprendre à nos élèves à utiliser **des données**

Par exemple : compresser une image :  deux carrés noirs sur fond blanc, vs. des photos de la tour Eiffel

II. Vivre dans un monde buggé ?

# Les objets informatiques sont partout

Dans les transports (avions, trains...), l'énergie (centrales nucléaires...), la médecine (imagerie médicale, robotique chirurgicale...)

Où le droit à l'erreur est limité

Mais aussi quand l'imprimante est en panne (il n'y a pas mort d'homme mais) c'est agaçant

## Pourtant...

Ces programmes sont extrêmement **complexes** (quantitativement) : nombre de lignes, mais aussi nombres de modules (système d'exploitation, pilote, traitement de texte, wifi, logiciel de l'imprimante...)

Ils sont écrits par des êtres **humains** et *errare humanum est*

# Comment écrire des programmes sans bugs

Exprimer dans un langage non seulement l'algorithme mais aussi les propriétés de l'algorithme (cahier des charges, spécification...)

Par exemple, contrôle aérien : jamais deux avions au même endroit au même instant

Et aussi démontrer que des algorithmes (complexes) vérifient des spécifications (simples)



# Le cas d'Amazon

Amazon web services

Une fuite de donnée (accidentelle ou malveillante) : assez embêtant

Peut-être le plus gros laboratoire de méthodes formelles au monde

# Du logiciel à la logique

Des langages formels pour exprimer des spécifications et des démonstrations

Parmi les concepts fondamentaux : **le concept de langage, non de langage de programmation**

Chiffres romains, chiffres indo-arabes, partitions, adresses, prescription des lunettes, équations algébriques, formules chimiques...

# En quoi cela nous concerne

Je sais comment faire, mais je ne sais pas l'exprimer dans un langage de programmation

Il manque une **compétence**

### III. Au delà du transistor

# Des machines à exécuter des algorithmes

Mais pourquoi des machines en silicium ?

Aucune raison : par le passé il y a eu des bouliers en bois, des machines électromagnétiques, des machines à tubes à vide...

Et dans le futur ?

# Une bonne raison de continuer

Concentrer les efforts

L'innovation s'explique (en partie) par le fait que chacun a un ordinateur chez soi (7 milliards de personnes qui investissent 10 €  
> un millionnaire qui investit 10% de sa fortune)

Fabriquer 100 exemplaires d'un ordinateur de bureau avec une autre technique : mauvaise idée

En informatique (en pharmacie...), **il n'y a pas de produits de luxe**

# Mais...

La machine à transistors exploite-t-elle toutes les ressources que la physique met à notre disposition pour calculer ?



Peut-on calculer la surface minimale aussi vite que le savon ?

# Les avantages du savon

Le mouvement de chaque molécule est **facile** à calculer  
Mais il y a **beaucoup** de molécules

Calcul parallèle, calcul en essaim



## Mais aussi

Calcul quantique : le principe de superposition permet de mener des calculs parallèles sur une seule machine

Calcul à ADN : les processus cellulaires permettent de factoriser des nombres en produits de facteurs premiers

...

# Tout calcule

Sortir du cadre de la machine à transistors, mais aussi de la



machine parallélépipédique, rigide, opaque, connectée par des câbles électriques

Les bulles de savon, les cellules... calculent également

Si **tout calcule**, **tout est calcul** (bio-informatique, physique effective)

# En quoi cela nous concerne ?

L'informatique n'est pas (uniquement) la science des ordinateurs

Éveiller la curiosité de nos élèves sur

- ▶ la place des algorithmes dans le monde (l'addition, la synthèse de protéines)
- ▶ la possibilité de simuler le monde, parce qu'il est en grande partie algorithmique,
- ▶ la force de description et d'expression des langages formels (simulation, description)

## IV. Des mondes parallèles

## Après le multivers, le métavers

Une caractéristique des humains depuis les peintures rupestres : inventer des mondes qui n'existent pas

Mais dans lesquels ils s'investissent affectivement : **La mort de Lucien Rubempré est le plus grand drame de ma vie**

Mais du madgalénien au XX<sup>e</sup> siècle, les œuvres d'art sont "à sens unique"

Rencontre une préoccupation des informaticiens : simuler (*a priori* le monde réel ou potentiel, mais pourquoi pas virtuel)

Monde imaginaire + simulation = jeu vidéo : le "spectateur" est acteur dans le monde imaginaire

Mais pourquoi se limiter à jouer ? Travailler, socialiser, aimer...

# L'immoralité de Molière

Vivre dans le virtuel, c'est mal

“La tragédie éveille de la pitié mais ce n'est qu'un attendrissement superficiel sur des héros imaginaires.”

Occulte hélas une autre critique possible : le métavers nous ressert les plats de la **simulation** et la “réalité virtuelle” (qui ont certes progressé, mais qui ne sont pas nouvelles)

# En quoi cela nous concerne ?

Stimuler la créativité de nos élèves

Répondre au cahier des charges, mais aussi créer de nouvelles fonctionnalités

Mais aussi, motiver notre enseignement par les jeux vidéos, les images en perspective, etc.

V. Le travail est mort, vive le travail



# Une double tendance

70 000 facteurs (France)

200 000 caissières de supermarché (France)

Des usines vides

Mais aussi génie civil, transport routier, hôtellerie et restauration

Des machines qui produisent, des humains qui consomment

La demande excède toujours l'offre, il n'y a pas de cornes d'abondance ?

Un message à manier avec précaution : demain les machines produiront et nous vivrons tous du revenu universel

# Une double tendance

Pénurie d'informaticiens

Compétence la plus recherchée dans le monde

Mais aussi : rare de trouver un poste qui ne nécessite aucune compétence en informatique

Pourquoi ?

Parce que notre travail consiste essentiellement à traiter de l'information et la machine de Turing est une machine universelle à traiter de l'information

# Comment les concilier ?

Nous travaillons de moins en moins

Mais le peu que nous travaillons demande des compétences de plus en plus pointues

## En quoi cela nous concerne ?

L'École sert aussi à donner un métier (un travail ?, un revenu ?)  
aux élèves

## VI. Le tournant éthique

## Qu'est-ce qu'un tournant ?

IBM → Microsoft → Google → Facebook → ?

# Qu'est-ce qui ne va pas aujourd'hui ?

- ▶ Collecte (revente) de données personnelles
- ▶ Bobards
- ▶ Haine en ligne
- ▶ Justice → vengeance (barbarie)

Toutes ces questions sont des questions d'**éthique**  
Le prochain tournant : celui de l'éthique ?

# En quoi cela nous concerne ?

Apprendre à nos élève que **chaque ligne de code** a un impact sur le metavers univers

Bien comprendre, pour bien agir



- ▶ Importance croissante des **données**
- ▶ Importance croissante de la **sûreté**
- ▶ De nouvelles **architectures**
- ▶ En monde **en soi**
- ▶ Moins de **travail**
- ▶ Plus d'**éthique**