



# Cycle de conférences « Échanger pour mieux comprendre »



**Actes de la conférence**  
**« Peut-on faire confiance à l'intelligence artificielle ? »**

Casablanca, jeudi 16 avril 2019





FONDATION  
Attijariwafa bank

# Pôle Édition & Débats

Tous les actes des conférences du Cycle « Échanger pour mieux comprendre »  
sont disponibles sur le site institutionnel : [www.attijariwafabank.com](http://www.attijariwafabank.com)

Échanger pour mieux  
comprendre

# ACTES DE LA CONFÉRENCE

## Casablanca, jeudi 16 avril 2019

### **Mot de bienvenue**

**M. Mohamed El Kettani**, Président Directeur Général du groupe Attijariwafa bank

### **Intervenant**

**M. Rachid Guerraoui**, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et au Collège de France

### **Modération**

**Mme Meya Zeghari**, Responsable Transformation Digitale et SmartUp au sein d'Attijariwafa bank

### **Séance de Questions/Réponses**

### **La rencontre en images**

### **Pôle Édition & Débats**

**Mouna Kably**, Responsable

**Kenza Lamniji**, Chef de Projets

**Sara Khallaayoun**, Chef de Projets



## Mot de bienvenue

### M. Mohamed El Kettani

Président Directeur Général du groupe Attijariwafa bank

**Honorable assistance,  
Mesdames et Messieurs,  
Cher(e)s ami(e)s,  
Bonsoir,**

Je vous souhaite à toutes et à tous, la bienvenue à la nouvelle conférence du cycle « Échanger pour mieux comprendre » de la Fondation Attijariwafa bank.

Nous voilà réunis, pour cette 48<sup>e</sup> édition, dans l'espace Actua, dédié à l'art et à la culture, au milieu d'œuvres d'artistes africains de talent, pour traiter d'une thématique scientifique mais aussi sociétale, hautement stratégique pour nos entreprises et pour notre pays. C'est l'un des objectifs de l'action citoyenne de la Fondation qui s'attache à promouvoir la créativité, tout en favorisant la réflexion sur des problématiques socioéconomiques d'une grande actualité, qui engagent l'avenir du Maroc.

Aujourd'hui, nous sommes heureux de compter parmi nous M. Rachid Guerraoui, un jeune

chercheur marocain de haute facture, Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne et au Collège de France ; et qui, dans un domaine extrêmement pointu, fait preuve de créativité et d'inventivité. Fort d'une grande expertise à l'international, M. Guerraoui va nous aider à mieux comprendre les ressorts de ce monde nouveau qui se dessine à grande vitesse. Ce monde, certes, complexe, porteur de menaces, mais riche en opportunités, qui se construit autour de l'intelligence artificielle.

Désormais, et quels que soient nos domaines de compétences et d'activités, nous sommes tous conscients de la nécessité de changer notre manière de travailler et d'appréhender les problèmes, car, avec la révolution numérique, plus rien ne sera comme avant. Nous le constatons chaque jour, dans notre quotidien. De profondes mutations bouleversent, à la fois, nos modes de vie, de pensée et d'organisation, sous l'effet de la généralisation des algorithmes. Il est donc important de remonter à la genèse de l'intelligence artificielle, pour en cerner le mode

de fonctionnement et l'étendue de sa puissance et de ses limites.

À ce stade de la transformation digitale, la question de fond qui se pose à nous est la suivante : comment saisir les opportunités offertes par la révolution numérique pour accroître la performance de nos entreprises et développer des services publics et privés pour le bien-être de tous nos concitoyens, tout en veillant à protéger notre humanité ?

Dans ce nouveau monde qui s'offre à nous, il est de notre devoir à tous, gouvernants, opérateurs publics et privés, et acteurs de la société civile, de capitaliser sur les avantages de l'intelligence artificielle, tout en veillant à la protection des données personnelles et au respect des règles de confidentialité et d'éthique.

De même, la formation des compétences et la Recherche & Innovation constituent des enjeux majeurs pour le Maroc et pour tous les pays africains. D'ailleurs, sur le Continent, nous serons, sans doute, amenés à unir nos forces

pour relever ces multiples défis et permettre à cette jeunesse africaine de prendre le train de la révolution numérique. C'est l'une des voies majeures à emprunter pour accélérer le rythme de développement de nos pays, rattraper notre retard technologique, résoudre le problème du chômage des jeunes, et entrer, de plein pied et en toute sérénité, dans l'ère du numérique. C'est une chance historique que nous devons saisir.

Je remercie chaleureusement M. Rachid Guerraoui d'avoir fait le déplacement de Lausanne pour nous éclairer sur ces questions fondamentales et passionnantes.

À présent, la parole est à Mme Meya Zeghari, Responsable Transformation Digitale et SmartUp au sein d'Attijariwafa bank, pour vous présenter notre conférencier et modérer la discussion avec l'assistance ici présente.

Je vous souhaite à toutes et à tous une excellente conférence.



## Mme Meya Zeghari

Responsable Transformation Digitale et SmartUp au sein d'Attijariwafa bank, Modératrice

Merci M. le Président.

Merci mesdames et messieurs, cher(e)s collègues et ami(e)s d'être venus si nombreux.

Je souhaite vous informer tout d'abord que l'intégralité des échanges de la conférence de ce soir sera retranscrite dans des Actes de conférence et sera disponible très prochainement sur le site du groupe Attijariwafa bank.

Je vous remercie aussi de penser à éteindre vos portables.

Et permettez-moi à présent d'accueillir le professeur Rachid Guerraoui sous vos applaudissements.

Rachid Guerraoui, vous êtes Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne où vous dirigez un laboratoire d'algorithmique. Vous êtes également Professeur au Collège de France où vous dirigez la Chaire du Numérique pour l'année 2018/2019.

Vous avez, par le passé, enseigné au MIT à Boston et travaillé aux laboratoires HP à la Silicon Valley.

Vos travaux de recherche ont été couronnés par des prix prestigieux dont le prix « ERC Advanced Grant » du Conseil Européen de la Recherche, le « Google Focused Research Award » et la distinction d'ACM Fellow. Enfin, vous êtes l'auteur de nombreux ouvrages et de centaines d'articles scientifiques en algorithmique répartie. Vos pairs n'hésitent pas à vous qualifier de « scientifique hors du commun » et vous êtes reconnu comme l'un des plus grands experts mondiaux des algorithmes. Autant vous dire, cher professeur, notre immense honneur et plaisir de vous recevoir dans le cadre du cycle « Échanger pour mieux comprendre » de la Fondation Attijariwafa bank.

Je souhaiterais tout d'abord expliquer à l'auditoire le choix de cette thématique de l'Intelligence artificielle. Comme l'a dit M. le Président, l'Intelligence artificielle est aujourd'hui au cœur des grandes mutations de nos sociétés. Sujet éminemment scientifique, il ne laisse pourtant personne indifférent, tant ses applications dans la vie courante, des sociétés, des entreprises et des individus sont nombreuses, multiformes et infinies.



Mais l'intelligence artificielle est aussi un sujet particulièrement clivant, puisqu'il oppose les enthousiastes aux sceptiques.

D'une part, les optimistes, partisans d'un avenir radieux pour l'humanité, voient dans l'intelligence artificielle, d'extraordinaires avancées en matière de prévention des catastrophes en tous genres (climatiques, sanitaires...), d'éradication des maladies graves, mais aussi, d'accès à la santé et à l'éducation pour tous, quel que soit le niveau social ou la situation géographique. Selon eux, l'intelligence artificielle est susceptible de transformer l'aide aux handicapés et l'accompagnement des personnes âgées, face à l'augmentation de la durée de vie. Ils y voient aussi de grands espoirs pour le mieux-être du citoyen dans une cité intelligente qui optimise la mobilité urbaine. Enfin, sur les plans politique et économique, les adeptes de l'intelligence artificielle y perçoivent des opportunités d'accroître les performances des entreprises, grâce au raisonnement autonome, et d'optimiser les politiques publiques pour les décideurs politiques... Et la liste est longue.

De leur côté, les sceptiques pour lesquels l'intelligence artificielle est un thème hautement

anxiogène, appréhendent la disparition brutale de milliers de métiers, la capture de nos données personnelles à notre insu, de nos actes, voire même, de l'intentionnalité de nos actes, et leur exploitation à des fins mercantiles, sinon malveillantes. Les pessimistes redoutent, à l'échelle mondiale, que la fracture ne s'aggrave entre les pays qui détiennent les outils de l'Intelligence artificielle et le reste du monde qui la subirait. Ils redoutent le spectre des manipulations génétiques, alertent sur la possibilité, pour tout un chacun, de télécharger des logiciels de programmation de robots tueurs en libre accès, de les fabriquer via l'impression 3D et de constituer une menace tangible pour toute l'humanité... Et la liste est longue ici aussi.

Donc, professeur Guerraoui, que répondriez-vous à ces deux visions antagonistes de l'intelligence artificielle. Mais tout d'abord, que recèle réellement l'intelligence artificielle ?

Pour nous l'expliquer, je vous invite à prendre place pour votre intervention et je vous rejoindrai tout à l'heure.



## M. Rachid Guerraoui

Professeur à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et au Collège de France

Peut-on faire confiance à l'intelligence artificielle ?

Lorsque nous préparions cette conférence, j'avais suggéré à Mme Kably un titre différent de celui de ce soir, « Peut-on faire confiance aux algorithmes ? ». Mais Mme Kably m'avait fait remarquer que si nous mettions « algorithmes » à la place de « l'intelligence artificielle », nous aurions sans doute moins de monde ce soir ! Elle a probablement raison. Mais en toute rigueur, je pense qu'il faudrait poser la question en ces termes : « Peut-on faire confiance aux algorithmes ? » Et je vais essayer de vous expliquer pourquoi.

La conférence de ce soir n'est pas un cours. Mon but est de partager avec vous certaines réflexions de manière assez simple. J'ai promis à mon ami journaliste Abdellah Tourabi présent parmi nous, qu'il comprendra l'intégralité de mes propos.

Il existe une théorie selon laquelle il suffit de répéter aux gens que ce qu'ils s'approprient à découvrir est simple pour qu'ils en comprennent l'essentiel. Cela les pousse à se concentrer et

à comprendre. Donc je vous le répète, ce que je m'approprie à vous raconter est très simple.

Pourquoi alors devrait-on poser la question « peut-on faire confiance aux algorithmes ? », plutôt qu'à « l'intelligence artificielle » ?

Mais, tout d'abord, qu'est-ce que l'intelligence artificielle ? Je suppose que vous vous êtes souvent posé la question. L'intelligence artificielle est la capacité d'un algorithme à faire résoudre par une machine, un problème que seuls des humains pensaient résoudre. La notion d'intelligence artificielle est très volatile et relative. Nous le voyons bien, l'intelligence artificielle évolue au cours du temps.

Je vais vous donner quelques exemples pour vous expliquer cette volatilité.

Si vous avez la chance de visiter le Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris, vous tomberez sur la Pascaline, une machine datant du 17<sup>e</sup> siècle que Blaise Pascal avait fabriqué, pour aider son

père dans ses travaux de comptabilité faisant appel à des additions de grands nombres. Ces travaux étant répétitifs, Blaise Pascal a pensé à les faire exécuter par une machine en mesure d'effectuer plus d'additions, et plus rapidement que les humains. Cet algorithme s'est avéré efficace et Blaise Pascal pensa à en fabriquer d'autres. Avec l'aide « d'ingénieurs », il en a produit 13 autres. Lorsqu'il essaya de les vendre, l'Eglise décida de les brûler parce qu'elle considérait que les Pascalines étaient une intelligence artificielle, et donc l'œuvre du diable. Nous sommes au 17<sup>e</sup> siècle, et l'on parle déjà d'intelligence artificielle pour effectuer des additions qui jusque-là ne pouvaient être réalisées que par des humains.

Aujourd'hui, une calculatrice qui se limiterait à résoudre des additions, ne représenterait pas vraiment l'intelligence artificielle ! Mais le plus important, est de retenir qu'à l'époque, cette calculatrice a fait appel à un algorithme pour effectuer des additions ; ce qui représente une forte avancée.

Quelques siècles plus tard, cette étape s'est banalisée et l'on a considéré que le jour où les machines seront en mesure de résoudre des problèmes plus complexes, l'on parlera alors d'intelligence artificielle.

Le jeu d'échecs était considéré comme difficile il y a encore quelques décennies, jusqu'au jour où un ordinateur IBM a battu le champion du monde des échecs. L'on a alors parlé d'intelligence artificielle. Mais, quelques années plus tard, cette machine qui était en mesure de vaincre les grands champions d'échecs, ne fût plus considérée comme de l'intelligence artificielle. Il suffisait de parcourir toutes les combinaisons possibles. Alors, l'on s'est dit que le jour où des algorithmes battraient les humains dans « Questions pour un champion », l'on dira que c'est de l'intelligence artificielle. Quelques temps plus tard, les algorithmes ont réussi cette nouvelle performance jusqu'à ce que celle-ci se soit

banalisée. On a conclu qu'il suffisait de digérer Wikipédia pour être en mesure de répondre à toutes les questions.

Les gens se sont ensuite demandé si l'on pouvait aller plus loin en termes d'intelligence artificielle et créer des algorithmes capables d'être des artistes. Les informaticiens ont alors confié à des ordinateurs, des tableaux du peintre Rembrandt. Ils ont analysé chacun de ses tableaux et reproduit des répliques. En 2016, des experts dans le domaine ont été incapables de distinguer les originaux, des répliques ! Le projet a été baptisé « The Next Rembrandt ».

Puis, le challenge a porté sur l'intuition. Et encore une fois, des algorithmes de randomisation intuitifs ont été capables de battre des humains au jeu de Go, un jeu dont les pistes sont infinies. Le dernier exemple en date est le Poker, un jeu connu pour le bluff. Le vrai défi était d'écrire des algorithmes qui peuvent mentir et bluffer. Il a fallu leur apprendre à mentir et à bluffer, et l'on y a réussi. Une partie de Poker a été organisée à Las Vegas et un ordinateur a battu les 4 meilleurs joueurs de la ville. L'on s'est dit à nouveau que c'était de l'intelligence artificielle.

Ainsi, même si la notion d'intelligence artificielle a l'avantage de vous faire venir nombreux à 18h, elle reste une notion très relative. Elle représente tout juste ce que les algorithmes sont capables de faire à un moment donné. Or, le contexte évolue. Donc, je préfère poser la question « Peut-on faire confiance aux algorithmes ? »

D'où vient alors la puissance de ces algorithmes ?

Ce que je m'apprête à vous dire est très important, surtout lorsqu'il s'agit de former des ingénieurs et des Data scientists. Nous avons tendance à l'oublier, mais la puissance des algorithmes qui ont permis de battre les humains aux échecs et au jeu de Go, vient des systèmes informatiques.

*« Nous avons tendance à l'oublier, mais la puissance des algorithmes vient des systèmes informatiques »*

Aujourd'hui, chaque ordinateur est connecté à des milliers d'autres ordinateurs. L'on qualifie ce mécanisme de « systèmes distribués ». Ces systèmes permettent de traiter un grand nombre de données et l'on retrouve un réseau parallèle à l'intérieur de chaque ordinateur. La multiplicité de ces outils rend l'ensemble incroyablement plus puissant que l'être humain. Il est crucial de s'en rappeler lorsque l'on pose la question « peut-on faire confiance à l'intelligence artificielle ou aux algorithmes ? ». J'y reviendrai.

Pourquoi est-ce alors une question cruciale ?

Vous devez sans doute le savoir, les GAFAs se hissent à la tête des plus grandes capitalisations boursières. Derrière ces mêmes GAFAs, nous retrouvons principalement des algorithmes. Google a son algorithme. Facebook a le sien aussi. Derrière Amazon, il y a quelques algorithmes, dont l'un est redoutablement efficace. Lorsque vous commandez un livre, il n'est imprimé que quand vous le payez. Malheureusement, cela va

probablement détruire beaucoup de librairies. Le directeur de la recherche d'Amazon est un informaticien. Le président d'Amazon a fait des études d'informatique. Les algorithmes sont la base de cette industrie. Se demander si l'on peut leur faire confiance est donc une question pertinente.

Vous avez sûrement entendu parler des prévisions. D'un côté, l'on dit, par exemple, que d'ici 2030, 50 % des emplois actuels disparaîtront. En effet, cela fait peur. Si cela s'avère vrai, cela va toucher beaucoup plus d'emplois que la révolution industrielle. D'un autre côté, l'on dit aussi que beaucoup d'emplois vont être créés. Il existe beaucoup de divergences quant aux chiffres. De mon côté, je dirais x %. Le futur nous éclairera sur ce « x ». Ces futures créations d'emplois constituent une opportunité, celle de former de nouvelles personnes à ces nouveaux emplois. Mais à condition de se rappeler de la puissance des algorithmes, de l'intelligence artificielle et, par là-même, des systèmes informatiques.



S'agissant des véhicules autonomes, il est normal que l'on se pose la question suivante : « peut-on faire confiance aux algorithmes ? ». À priori, nous pouvons leur faire confiance. Un algorithme ne boit pas, ne s'endort pas, n'est pas distrait. Il est fort vraisemblable que l'on confiera nos voitures aux algorithmes d'ici peu. C'est en train d'arriver et c'est positif. Si l'on développe des algorithmes qui ne s'endorment pas, il y aura forcément moins d'accidents de la route, moins de traumatismes...

Concernant la médecine, vous en avez sans doute entendu parler, des algorithmes sont beaucoup plus efficaces à déceler un mélanome à partir de la photo d'une peau que la meilleure équipe de dermatologues au monde. Ce que je suis en train de vous dire ne concerne pas le futur, c'est en train de se passer aujourd'hui.

Aussi, pour ceux d'entre vous qui ont suivi les images hier de la cathédrale Notre Dame de Paris, vous aurez remarqué que le premier pompier entré dans la cathédrale était un robot autonome doté d'une caméra. C'est la preuve que nous pouvons leur faire confiance.

Plus loin encore, un sondage intéressant a été mené récemment en Europe. À la question « vous

verriez-vous gouvernés par des algorithmes ? », un tiers des européens ont répondu oui.

Mais il faut dire que les algorithmes nous gouvernent déjà. Je prends l'exemple de Mediego, un logiciel développé par une startup de l'Institut National de Recherche en Sciences du Numérique, dirigée par Anne-Marie Kermarrec. Si vous l'utilisez demain pour être au courant de l'actualité, vous tomberez peut-être sur un article intitulé « Les algorithmes nous gouvernent ». Comment cela est-il possible ? Le logiciel aura su que vous êtes venu à cette conférence aujourd'hui et vous proposera cet article.

Les algorithmes sont donc en train de nous gouverner, ils vont nous prendre une partie de nos emplois... De ce fait, se demander si l'on peut leur faire confiance, est une question fondamentale.

Je repose donc la question : « peut-on faire confiance aux algorithmes ? ». La réponse est clairement non, lorsqu'on se réfère à certains exemples, et ils sont nombreux. Pour ceux d'entre vous qui ont une bonne mémoire, vous vous rappelez de l'explosion de la navette Ariane 5. Ariane 5 est un modèle amélioré d'Ariane 4. Les concepteurs d'Ariane 5 ont gardé la même structure et les

mêmes algorithmes que ceux d'Ariane 4, mais les moteurs étaient plus puissants. C'est donc un bug informatique, probablement le plus cher de l'histoire aéronautique, qui a provoqué ce crash.

Plus récemment, je voudrais vous parler du Boeing 737 et vous raconter une anecdote, certainement vraie. La veille du crash de l'avion indonésien, l'équipage a remarqué un problème dans un autre appareil similaire. L'avion piquait du nez. Dans les avions, il existe un système informatique qui, à partir d'informations diffusées

par des capteurs, décide de se redresser ou de piquer du nez. Si les capteurs ne donnent pas les bonnes informations, cela peut provoquer une catastrophe. Donc, cet avion a piqué du nez au lieu de se redresser. Les pilotes n'ont pas su comment réagir. Cependant, un informaticien se trouvant parmi les passagers a lui compris le problème et su prendre la bonne décision en arrêtant le système informatique. L'avion a ainsi réussi à atterrir. Le lendemain, en l'absence d'un informaticien à bord, qui aurait été en mesure de donner le même signal, l'avion s'est écrasé.



Donc, « peut-on faire confiance aux algorithmes ? » La réponse est : pas toujours.

Comme nous sommes dans une banque, je vais vous citer un exemple célèbre qui est le flash crash de 2010. En quelques minutes, des centaines de millions de dollars se sont évaporés, et ce, suite à

la dévaluation de l'euro. Des milliers de machines parallèles vendaient des actions de sociétés grecques, elles ne se sont pas synchronisées. Au final, tout a été vendu et cela a déclenché un crash boursier en l'espace de quelques centièmes de secondes. L'algorithme était juste, mais sa mise en pratique a posé problème.

Ces exemples nous montrent qu'à cause de certains algorithmes, il y a eu des pertes de vies humaines et des pertes d'argent colossales.

Alors, d'où vient la fragilité des algorithmes ? Pourquoi, dans certains cas, les algorithmes font des prouesses extraordinaires, et dans d'autres cas, ils causent des situations dramatiques ? Les algorithmes tirent, à la fois, leur puissance et leur fragilité des systèmes informatiques. Je vais vous expliquer ce paradoxe.

Il semblerait qu'au bout de quinze minutes de conférence, parler d'histoire peut s'avérer reposant pour l'auditoire.

Revenons donc aux premiers algorithmes. Euclide, un mathématicien de la Grèce antique, voulait calculer le plus grand diviseur commun entre deux entiers. Vous n'avez pas besoin de savoir ce qu'est le plus grand diviseur commun. Euclide voulait non seulement le calculer, mais il voulait également trouver une technique qui permette à tout le monde de le faire. Euclide faisait partie des mathématiciens altruistes, ceux qui résolvaient les problèmes et voulaient que tout le monde les résolve. Il a donc proposé l'algorithme d'Euclide qui permet de calculer le plus grand diviseur commun entre deux entiers.

Bien plus tard, Al-Khwârizmî, ayant reçu l'ordre de faire en sorte que tout le monde puisse trouver des solutions aux problèmes, a lu et traduit Euclide. Il a écrit « Le Livre d'Algèbre » où il résume des recettes, des techniques et des procédés pour solutionner les problèmes mathématiques difficiles. Parmi les algorithmes célèbres, il y en a que vous connaissez probablement, mais vous ne savez pas qu'Euclide en est à l'origine. L'addition par exemple, rajouter les nombres à droite, retenir 1... cette technique n'existait pas avant Al-Khwârizmî. Aujourd'hui, cette technique peut nous sembler triviale, mais il ne faut pas, mais il ne faut pas oublier qu'à l'époque, adopter

la numérotation à base décimale était une invention extraordinaire.

En effet, un algorithme est souvent associé à une manière de représenter l'information. À cette époque, le but n'était pas de faire exécuter des algorithmes par des machines, mais plutôt par des êtres humains qui n'étaient pas mathématiciens.

Blaise Pascal a été le premier à avoir l'idée de faire exécuter des algorithmes par des machines. Il a inventé la Pascaline en y intégrant l'algorithme de l'addition. La machine et l'algorithme ne faisaient qu'un. Si vous visitez le Musée des arts et métiers, vous pourrez comprendre comment fonctionne cette machine. C'est extraordinaire.

Il a fallu quelques siècles pour qu'un mathématicien pense à une innovation, qui nous semblerait triviale aujourd'hui. Alan Turing s'est basé sur l'innovation de Pascal et s'est demandé pourquoi il fallait nécessairement câbler l'algorithme dans la machine. Il a donc pensé à développer les algorithmes sous forme de données et les intégrer dans une seule même machine, la « machine universelle ».

Alan Turing a développé la base théorique des algorithmes. Sans lui, nous n'aurions pas d'ordinateurs « universels », capables d'exécuter différents algorithmes : surfer sur internet, faire des calculs, écrire des lettres... L'universalité est cruciale. Alan Turing est mort en 1954. À partir des années 1960, l'avidité humaine est telle que l'on a commencé à vouloir que plus de données soient traitées, plus rapidement.

Si vous n'avez pas regardé le film « The Imitation Game », je vous le recommande vivement.

L'on a donc commencé à connecter les ordinateurs, les uns aux autres, pour qu'ils puissent traiter plus de données et être plus performants. Plus encore, l'on ira même jusqu'à mettre plusieurs ordinateurs à l'intérieur d'un même ordinateur.

*« À cause de certains algorithmes, il y a eu des pertes de vies humaines et des pertes d'argent colossales »*

La connexion des ordinateurs entre eux a donné naissance à internet. Mais il faut comprendre que cela change la logique de la réflexion. Je vais vous donner un exemple. Malheureusement je prends toujours le même.

Supposons que l'on vous demande de participer à un concours en présence de deux champions d'échecs, Karpov et Kasparov. Vous êtes invité à jouer contre les deux, et si vous perdez contre l'un des deux, l'on vous pend. Comment faire pour ne pas perdre ?

La première suggestion implique de ne pas jouer. Or, vous êtes obligé de jouer.

Vous avez une autre alternative. Si vous utilisez l'un des champions contre son rival, il est impossible de perdre. Vous réaliserez soit un match nul contre les deux, soit l'un vous bat, auquel cas vous battez l'autre.

Cet exemple illustre la puissance et la subtilité de l'algorithmique répartie. Mais cette subtilité revêt deux faces. D'un côté, lorsque l'on distribue, l'on devient plus puissant et plus rapide, et l'on traite plus de données. Cette démarche est plus intelligente, plus subtile. De l'autre, cette démarche repose sur le théorème selon lequel aucun algorithme ne peut résoudre le consensus dans un réseau asynchrone.



Je vous explique ce théorème. Admettons que vous mettez un ensemble de machines dans un réseau et que vous employez les meilleurs spécialistes en algorithmes et informations du

monde pour qu'ils développent un algorithme capable d'accorder cet ensemble de machines sur une valeur. Ce théorème stipule : « malgré l'intelligence de cette équipe, celle-ci n'arrivera



jamais à écrire un algorithme capable de résoudre les asynchronismes du réseau à chaque fois qu'ils se produisent (manque d'hypothèses, manque de temps de communication, perte de messages...). » Ce théorème de l'impossibilité du consensus est très important. Quand bien même sommes-nous face à des machines, nous pouvons démontrer que parfois ces dernières peuvent ne pas se mettre d'accord. Ce qui est à l'origine de nombreux problèmes techniques. Pour ceux qui pensent qu'être informaticien n'est pas un métier pour les femmes, ce théorème fondamental a été démontré par une femme extraordinaire, dénommée Nancy Lynch, professeure au MIT. J'ai eu la chance de travailler avec cette personne avant-gardiste et rigoureuse. Vous pouvez retrouver ses cours sur internet.

Les mathématiciens spécialisés en topologie algébrique ont essayé de creuser ce théorème. Ils l'ont mis en parallèle avec un vieux lemme de mathématiques (résultat intermédiaire qui permet de conduire une démonstration d'un théorème). Il s'agit du lemme de Sperner du nom d'Emanuel Sperner, un mathématicien allemand. Ils sont arrivés à la conclusion suivante : il y aura autant de décisions que d'ordinateurs. S'ils sont connectés les uns avec les autres, ils seront plus performants mais, parfois, ils pourraient diverger. Actuellement, des recherches sont toujours en cours pour tenter de comprendre ces situations de « désaccord ».

Je consacre une grande partie de mes travaux de recherche, à la compréhension des situations où surviennent ces désaccords. Cette discipline s'appelle l'algorithmique répartie, et consiste à étudier les situations dans lesquelles les ordinateurs n'arrivent pas à travailler ensemble.

*« Si le bitcoin continue à se développer, le problème de la consommation d'énergie se posera avec plus d'acuité »*

Pour vous donner un exemple simple et concret de cette situation, je vais vous parler du Bitcoin. Vous en avez sûrement tous entendu parler. La crise financière de 2008 a conduit un informaticien qui s'appelle Nakamoto à écrire un article où il expose ses griefs contre le système bancaire. Il propose alors de créer une monnaie distribuée, virtuelle. Au début, cette monnaie était utilisée exclusivement pour vendre et acheter du matériel informatique. Mais très rapidement, les gens ont commencé à lui faire confiance. Aujourd'hui, l'on peut même inscrire ses enfants à l'université de Cambridge en payant en bitcoins. Aujourd'hui, les bitcoins sont utilisés par des millions d'utilisateurs. Mais un aspect pose problème : Les bitcoins consomment énormément d'énergie. De ce fait,

si cette monnaie continue à se développer, le problème de la consommation d'énergie se posera avec plus d'acuité.

Pour vous expliquer le mode de fonctionnement du bitcoin, je vais vous raconter une petite histoire. Allons à Marrakech, à

la Place Jemâa El-Fna. Prenons l'exemple d'un magasin de tapis. Supposons que le propriétaire de ce magasin, M. Ali, a acheté tous les tapis d'une région. Il a donc le monopole sur certaines couleurs. Au cours du temps, il aura compris qu'il est plus pratique de payer ses employés en tapis qu'en dirhams. Il commence donc à rémunérer ses employés en tapis. Ses employés n'emmènent pas les tapis chez eux, ils les laissent chez M. Ali, leur employeur. Ils commencent à régler eux-mêmes leurs achats avec des tapis. Une économie parallèle autour du tapis se met donc en place et se développe progressivement. M. Ali note les transactions sur un cahier, ce qui s'apparente donc à une activité bancaire, mais sans avoir à payer d'impôts.



Au niveau fiscal, cette option est redoutable. Justement, Nakamoto ambitionnait l'émergence d'une économie parallèle similaire. En se basant sur notre exemple, Nakamoto aurait suggéré une solution décentralisée. Au lieu de centraliser toutes les transactions au niveau d'une seule et même personne, il suggère que toutes les 10 minutes, soit élu un nouveau leader ayant la responsabilité d'écrire dans le cahier des transactions. La sélection se ferait à travers un jeu, la résolution du Sudoku ; et celui qui réussit, gagne un tapis.

Aujourd'hui, celui qui résout un Sudoku gagne des bitcoins. L'algorithme du bitcoin fabrique lui-même les Sudokus en fonction des transactions.

Pourquoi les bitcoins consomment-ils autant d'énergie ? Parce que les Sudokus ne sont pas résolus à la main, et nécessitent l'utilisation de plusieurs machines. Au lieu d'être, par exemple, à la Place Jemâa El-Fna, le système de bitcoins requiert la connexion de plusieurs ordinateurs, les uns avec les autres. Ces ordinateurs essaient de se mettre d'accord sur le choix d'un leader qui joue le rôle du banquier.

Mais l'on a constaté que parfois ce système ne fonctionnait pas. En effet, dans certains cas,

on enregistre une perte de plusieurs millions. Pour réduire la probabilité de l'occurrence d'un problème de consensus, l'on crée des sudokus de plus en plus grands.

À terme, ce système risque de poser un problème en termes de consommation d'énergie car il suppose l'intervention d'un nombre croissant de personnes et une augmentation de la capacité de calcul.

Cet exemple d'application nous permet donc de comprendre les limites de cette solution et la nécessité de recourir à de plus en plus d'énergie.

La semaine dernière, j'ai appris, par hasard, qu'une startup du MIT essayait de développer un nouveau modèle de bitcoin qui n'utilise pas d'énergie. À l'EPFL, nous avons également identifié une piste. La startup du MIT pense à vendre sa solution en Afrique et la faire exécuter sur des téléphones portables qui n'ont pas besoin de beaucoup d'énergie. Mais il serait dommage que ce soit une startup de la Silicon Valley qui développe une solution basée sur les téléphones portables et qui serait déployée en Afrique.

Pour conclure, j'espère que vous aurez retenu 3 aspects essentiels :

- Il existe des théorèmes développés par des théoriciens qui expliquent des cas pratiques ;
- Le Sudoku est la base du bitcoin et ce modèle consomme beaucoup d'énergie ;
- l'intelligence artificielle est juste un mot qui permet de vous réunir nombreux et que ce sont les algorithmes qui sont puissants !

Alors, peut-on faire confiance aux algorithmes ?

La réponse est « pas totalement ». Nous ne pouvons pas leur faire confiance, mais nous ne pouvons pas non plus faire totalement confiance

aux humains. Néanmoins, nous pouvons les comprendre et les contrôler, si nous maîtrisons les systèmes informatiques.

Parfois, lorsque je découvre que certaines formations en intelligence artificielle ou en Data science ne prévoient pas de bases en informatique, je suis sidéré. Cela est impossible. L'informatique est la base des algorithmes.

Je vous remercie de votre attention et de votre patience.



### Mme Meya Zeghari

Merci M. Guerraoui pour la qualité et la richesse de votre exposé. Je vais maintenant vous poser une question. Parmi les ruptures dues à l'intelligence

artificielle, quelle est, selon vous, celle qui vous paraît la plus structurante et la plus porteuse de changements radicaux pour le futur ?

### M. Rachid Guerraoui

Tout d'abord, la Santé. Il est clair que le jour où l'on confiera notre santé à des ordinateurs, cela posera problème. Nous avons reçu il y a quelque temps Jeff Dean, M. Intelligence artificielle chez Google. Il nous a expliqué que les ordinateurs prendront la place des médecins qui diagnostiquent les cancers. Mais ces ordinateurs ne pourront pas prendre, pour le moment, la place du médecin qui

annonce la maladie au patient. Pour l'heure, nous n'avons pas encore la possibilité de développer des algorithmes capables d'expliquer aux gens qu'ils vont bientôt mourir. Cela prendra du temps. Au Japon, l'on commence déjà à fabriquer des robots plus attentionnés.

L'autre secteur bénéficiaire est la Finance.

### Mme Meya Zeghari

D'après une étude récente de PWC, l'intelligence artificielle présente un potentiel de 15 700 milliards de dollars de gains pour l'économie mondiale,

soit une croissance de 14 % du PIB mondial. Comment le Maroc pourrait prendre sa part selon vous ?

## M. Rachid Guerraoui

Si j'avais la réponse, je serais très riche.

Contrairement à la révolution industrielle, le domaine de l'intelligence artificielle demande plus un investissement en termes de neurones

qu'un investissement en termes de matières premières. Au Maroc, il y a suffisamment de jeunes qui pourraient prendre le train déjà en marche, en créant leurs propres bitcoins par exemple.

## Mme Meya Zeghari

Merci M. Guerraoui.  
J'ai une autre question pour vous.

L'on constate, dans les pays développés, que la recherche sur l'Intelligence artificielle concerne, entre autres, des projets extrêmement futuristes. Mais, au Maroc et dans les autres pays africains, nous sommes focalisés sur des développements plus pratiques et des préoccupations plus triviales.

Nos pays réfléchissent, par exemple, à la mise en place de politiques positives d'optimisation via l'intelligence artificielle.

Le Maroc s'active en la matière. Toutes les grandes entreprises aujourd'hui placent l'intelligence artificielle au cœur de leurs stratégies. Et le gouvernement marocain n'est pas en reste, notamment avec le lancement du premier appel à projets de recherche en matière d'Intelligence artificielle, le 16 mars 2019, par le ministère de l'Éducation nationale, de la Formation professionnelle, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, en partenariat avec le ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Économie numérique.

Cet appel à projets est doté d'une enveloppe globale de 50 millions de dirhams et concerne

11 domaines. Je citerai à titre d'exemple :

- des projets de modèles personnalisés d'apprentissage dans le domaine de l'éducation ;
- des systèmes d'experts d'aide au diagnostic précoce dans le domaine de la santé ;
- l'efficacité énergétique en matière d'énergie et d'eau ;
- la détection de la fraude, la blockchain et la monnaie digitale dans le domaine financier, bancaire et d'assurance ;
- des bâtiments intelligents en matière de villes intelligentes ;
- la smart supply chain pour le transport et la logistique ;
- la robotique dans l'industrie ;
- la recommandation de produit pour les télécoms et réseaux ;

Et bien d'autres...

Mais force est de constater que, dans le même temps, le Maroc subit une véritable saignée de ses développeurs et de ses informaticiens. Pas moins de 100 informaticiens quittent le pays chaque mois pour aller en Europe par exemple. Face à cela, je suppose que cet appel à projets manifestement ne sera pas suffisant pour tous les retenir. Alors professeur, comment résoudre cette équation ?



## M. Rachid Guerraoui

Tout d'abord, je partagerai avec vous ma première remarque. Je ne pense pas que le fait que le Marocain qui quitte le Maroc, soit une catastrophe pour son pays.

Ensuite, pour ma deuxième remarque, je pense qu'il faut former des compétences.

Le Maroc a sans doute hérité de la France beaucoup de belles choses, mais le système éducatif me semble un peu archaïque. Notamment dans le fait de se concentrer uniquement sur la formation des ingénieurs.

Prenons par exemple le cas de la Suisse. Son modèle, inspiré du système allemand, propose des formations très variées qui bénéficient grandement à son économie.

Bien entendu, il y a des exemples qui fonctionnent au Maroc, à l'image de l'ENSIAS et de l'Université Mohammed VI Polytechnique. Mais je pense qu'il faut diversifier les formations et surtout, il faut former ! Si certains jeunes lauréats partent à l'étranger, il faut espérer qu'ils renvoient un jour l'ascenseur. Avec le recul, cela n'est pas si grave.

## Mme Meya Zeghari

Je vous remercie professeur.  
Nous allons à présent donner la parole à la salle. Pour ceux qui vont poser des questions,

je vous demande de vous présenter et de poser vos questions très succinctement.

Séance de questions/réponses

### Question d'un participant

Bonsoir. Je vous remercie pour votre intervention. Je voudrais simplement avoir une précision concernant les bitcoins. Il me semble que vous êtes pour cette monnaie virtuelle. Vous voudriez même qu'un Africain soit précurseur dans ce domaine. Mais, tous les financiers du monde attirent notre attention sur les désastres qu'engendre cette monnaie. Êtes-vous vraiment pour cette monnaie ?



### Réponse de M. Rachid Guerraoui

Les banques conduisent également à des désastres parfois. Je ne suis pas totalement convaincu que ce modèle basé sur le bitcoin soit dans sa forme actuelle ou future, un désastre. Je pense qu'il peut permettre de compléter le modèle actuel. L'ubérisation est en train de se produire dans plusieurs domaines et nous ne pouvons pas la contrer. L'ubérisation de la monnaie ou de la

banque risque d'arriver donc très vite.

Je n'ai aucune responsabilité. Je ne suis ni financier, ni responsable. Je ne peux rien décider. De ce fait, je ne suis ni pour ni contre, j'essaie juste de comprendre le mode de développement des phénomènes, les raisons de leur succès et comment elles peuvent mieux réussir.

### Question de Mme Kaoutar Haida Collaboratrice des Systèmes d'Information Groupe - Attijariwafa bank

Bonsoir à tous. J'aimerais poser une question qui revient assez souvent concernant l'intelligence artificielle. Si l'on admet que les robots sont présents et que l'intelligence artificielle va de plus en plus se développer, qui sera légalement responsable en cas d'erreurs ? Si, par exemple, une voiture autonome provoque un accident et tue un piéton, qui sera considéré comme responsable ? L'ingénieur qui aura conçu l'algorithme ou le propriétaire de la voiture ? Le système législatif ne devrait-il pas s'adapter pour suivre cette intelligence artificielle ? Merci beaucoup.





## Réponse de M. Rachid Guerraoui

C'est une excellente question. Je pense que l'un des métiers qui ne disparaîtra pas de sitôt est celui d'avocat. Concernant les algorithmes d'aujourd'hui, ils sont répartis, chaque bout

est fait par un ingénieur différent. Cela est très compliqué à gérer du point de vue de la responsabilité légale. Le système juridique devra s'adapter. Il n'aura pas le choix.

## Question de Mme Wafa Belmaachi Consultante

Bonsoir, j'aimerais poser une question concernant les données que l'on donne aux algorithmes. La question se pose par rapport à la fiabilité des algorithmes eux-mêmes, mais aussi par rapport à la qualité des échantillons de données que manipulent les algorithmes.

Comment pouvons-nous avoir confiance en la fiabilité des données et des algorithmes ?



## Réponse de M. Rachid Guerraoui

C'est une très bonne question aussi.

Je vais prendre un exemple très concret, celui du logiciel dont je vous ai parlé tout à l'heure, Mediego. Ce système prend les informations que vous lui donnez et personnalise le contenu qui vous est proposé. La société qui détient ce logiciel a deux solutions : une solution qui garantit la protection de votre vie privée (elle rajoute du « bruit » sur les informations pour que l'on ne vous reconnaisse plus) et une autre qui ne la

garantit pas.

Mais, je constate qu'aujourd'hui, tout le monde est prêt à parler de sa vie privée et à l'exposer sur Facebook, Twitter... Les personnes n'accordent plus d'importance à la protection de la vie privée, n'ont pas la patience d'attendre une minute supplémentaire pour répondre à une question qui leur garantit la protection de leur vie privée. En réalité, les personnes me font plus peur que les algorithmes.

**Question de M. Youssef El Oudeghiri Idrissi**  
SONADAC – Groupe CDG

Bonsoir. Je vous remercie pour la qualité de votre exposé. Si vous le permettez, pouvez-vous nous parler des algorithmes auto-apprenants ?



**Réponse de M. Rachid Guerraoui**

Le terme que je connais et qui correspondrait aux algorithmes auto-apprenants est « unsupervised-learning ». Cela concerne les algorithmes qui apprennent de leurs erreurs. Prenons l'exemple d'une voiture équipée d'un algorithme qui suit une instruction particulière ; à savoir, nous emmener à Qualidia le plus rapidement possible, sans nous faire arrêter par les gendarmes. La première fois, la voiture se fait arrêter par les gendarmes, et la deuxième fois, le trajet dure 6h. L'algorithme apprend ainsi au fur et à mesure des solutions possibles testées.

Tout à l'heure, je vous ai parlé du jeu de Go qui a été développé en 2017. L'algorithme a appris tout seul.

Cette technique de « l'apprentissage non supervisé » est redoutablement efficace. Mais nous n'en connaissons pas encore les limites. Parfois, nous sommes face à des résultats surprenants, parce que l'algorithme va à l'encontre de ce que voudrait un humain. C'est fascinant. Je pourrais développer cela une autre fois.

**Question de Mme Naima Khamrich**  
Ex-banquière – Coach

Bonsoir.

Je voudrais vous demander votre point de vue concernant une affirmation selon laquelle le chômage toucherait très peu les pays où l'intelligence artificielle est développée.

Par ailleurs, que pensez-vous de l'élection de Trump ? Les électeurs ont été drôlement manipulés.



Enfin, quelle place pour les loisirs dans un contexte marqué par un développement important de l'intelligence artificielle ?

## Réponse de M. Rachid Guerraoui

Concernant votre première question, il y a en effet moins de chômage dans les pays où l'intelligence artificielle se développe. Ces pays ont forcément un niveau d'instruction élevé, ce qui explique que cela va souvent de pair avec un chômage bas.

S'agissant des loisirs, je vous invite à imaginer un futur proche où l'on va plus se contenter de regarder un match du Wydad contre le Raja, mais où l'on va jouer nous-mêmes. Grâce à un algorithme, l'on pourra jouer et devenir Dolmy ou Bouderbala. Cela risque d'arriver très vite. Ce sera fascinant.

En ce qui concerne Trump, lorsqu'il diffuse une information, elle se propage très vite, sans

que les gens n'aient le temps nécessaire pour vérifier si elle est pertinente ou non. Face à la puissance des ordinateurs, la diffusion des fake news est difficile à maîtriser. Vous avez raison, cela fait très peur.

Des chercheurs travaillent sur ce sujet, mais, pour l'instant, il n'y a pas encore de solution. Tout comme dans la vie réelle, l'on peut détruire très vite la réputation de quelqu'un, mais la reconstruire prend du temps. Les algorithmes ne sont pas plus intelligents que ceux qui les conçoivent. Si l'on n'arrive pas à résoudre ce problème chez les humains, c'est moins évident chez les machines qui sont plus puissantes et plus rapides.

## Question de M. Ahmed Bouzidi Président du Modem

Bonsoir professeur, merci pour le formidable exposé.

Vous avez abordé la question de l'éducation dans le sens où nous aurons besoin d'investir en termes de neurones. Comme vous le savez, professeur, les neurones travaillent en collaboration avec les synapses. Nous avons besoin d'un travail complémentaire. Nous devons travailler en écosystème et non pas en « égosystème ».



## Réponse de M. Rachid Guerraoui

Je suis d'accord.

### Question de M. Rachid Sinaceur

Bonsoir. J'ai deux questions.

La première concerne l'impossibilité de consensus. Si j'ai bien compris, est-ce que cela voudrait dire que la machine est défaillante là où les êtres humains ne le sont pas ?

La deuxième concerne le bitcoin. Si j'ai bien compris, l'expérience du bitcoin est assez inquiétante pour le système bancaire actuel vu que le système est complètement décentralisé et qu'il n'y a pas de banque centrale. Dans ce cas, quel avenir pour le secteur bancaire ?  
Merci.



### Réponse de M. Rachid Guerraoui

Pour votre première question, nous n'avons pas encore prouvé cela, mais ce serait très plausible.

Pour votre deuxième question, je n'ai aucune compétence pour prévoir l'avenir du secteur bancaire face au bitcoin. Cependant, la décentralisation

semble arriver à grands pas et cela semble inéluctable. Alors, les banques vont-elles se profiler en tant que fournisseurs de services, en tant que facilitateurs ? Cela est probable. Mais encore une fois, je suis complètement ignare dans ce domaine.

### Question de Mme Dounia Essabban Grand Reporter - Aujourd'hui Le Maroc

Bonsoir. Je voudrais revenir à une question relative à l'éthique. Face à l'euphorie actuelle autour de l'intelligence artificielle qui dépasse les frontières des pays, comment l'humanité peut-elle être préservée en l'absence de garde-fous ? Existe-t-il, au niveau des universités et des centres de recherche, des travaux qui tentent de décrypter cet aspect ?

Aussi, peut-on faire aujourd'hui un état des lieux des domaines où l'intelligence artificielle peut se développer d'une manière pérenne, pour le Maroc par exemple ?

Je vous remercie.



## Réponse de M. Rachid Guerraoui

Concernant votre question sur l'éthique, vous avez absolument raison. J'entrevois deux réponses. Tout d'abord, l'éducation a un grand rôle à jouer. Beaucoup d'universités obligent aujourd'hui leurs étudiants à suivre des cours de philosophie, de droit... pour ne pas produire de robots. Ensuite, les instances transnationales peuvent également sensibiliser dans ce domaine. Je sais que l'ONU, à Genève, travaille sur une charte éthique sur l'intelligence artificielle et la génétique. Des efforts sont donc fournis dans ce sens.

Pour ce qui est de l'état des lieux, j'ai toujours peur des commissions qui se penchent sur des problèmes donnés. Zakaria Boualem en parle très bien. Il ne sert à rien de faire un check-up. Les résultats sont rarement concluants. Le risque est de passer 10 ans ou plus à se dire « où en est-on ? il faut faire des sondages, il faut établir des agendas. » À mon sens, il est préférable de former des gens et de passer à l'action sans attendre.

## Question de Mme Sara Belghiti Professeur à l'EM Lyon

Bonsoir.

Vous avez évoqué tout à l'heure le robot dans le domaine de la santé qui ne peut pas encore annoncer une maladie grave à un patient. Ma question est simple, je sais que des chercheurs au MIT et à Stanford University travaillent dessus, mais peut-on programmer l'intuition ? Peut-on programmer l'émotion ?



## Réponse de M. Rachid Guerraoui

Concernant l'intuition, tout dépend de ce qui est modélisable. Je vous ai parlé tout à l'heure de l'exemple du jeu de Go, basé sur l'intuition. Alors que cela était considéré comme impossible il y a peu, l'on a réussi à modéliser un algorithme capable de battre l'humain sur ce registre.

Par ailleurs, lorsqu'il s'agit de regarder une

personne et de lire ses émotions, les ordinateurs ont battu les humains. Pour l'instant, les ordinateurs maîtrisent la lecture de l'émotion.

Globalement, les informaticiens, en développant leurs algorithmes, ont l'air d'arriver à tout faire, qu'on le veuille ou non. Donc, j'ai du mal à imaginer qu'ils n'arriveront pas à dépasser ces limites.

## Mme Meya Zeghari

Merci professeur pour cet échange passionnant et instructif. Je pense que l'on en sait un peu plus sur les algorithmes et l'intelligence artificielle.

Merci à vous d'être restés jusqu'au terme de notre conférence. Je vous souhaite une très bonne soirée et à très bientôt !

# ANNEXE I : BIOGRAPHIES

## **Al-Khwarizmi (780-850)**

Muhammad Ibn Musa al-Khwarizmi, généralement simplifié en Al-Khwarizmi, est un mathématicien, historien, géographe, astrologue et astronome perse. Son nom latinisé est à l'origine du mot « algorithme » et le titre de son célèbre ouvrage « Abrégé du calcul par la restauration et la comparaison » est à l'origine du mot « algèbre ». Ses écrits, d'abord rédigés en arabe, sont traduits en latin à partir du 12<sup>e</sup> siècle, favorisant l'introduction de l'algèbre en Europe. Surnommé « le père de l'algèbre », il est également un astronome hors pair, ses travaux ayant permis la constitution des tables astronomiques occidentales du XIII<sup>e</sup> siècle.

## **Alan Turing (1912-1954)**

Alan Turing est un mathématicien, cryptologue et informaticien britannique. Il est un des plus grands génies méconnus du 20<sup>e</sup> siècle, dont la mémoire n'a été que récemment réhabilitée, notamment dans le film « Imitation Game » sorti en 2014. Pionnier de l'informatique et de l'intelligence artificielle, il est considéré comme l'inventeur de l'ordinateur moderne. Dans sa thèse de logique mathématique à l'Université de Princeton, il développe la notion d'hypercalcul et appuie sa démonstration sur une « machine universelle ». Ses travaux posent ainsi les fondements de l'informatique et de la programmation. Héros de guerre, il joue un rôle essentiel dans la Seconde Guerre mondiale, notamment dans la cryptanalyse d'une machine utilisée par le commandement nazi.

## **Blaise Pascal (1623-1662)**

Philosophe, théologien et homme de lettres, Blaise Pascal fut également mathématicien et physicien. Il fut élevé par un père passionné de mathématiques faisant de lui un grand mathématicien du 17<sup>e</sup> siècle. Pascal a su innover dans de nombreux domaines. Nous lui devons plusieurs inventions, dont la machine arithmétique, le baromètre, la seringue ou encore les carrosses aux cinq sols, premier système de transport en commun à Paris.

## **Euclide**

Euclide est l'un des mathématiciens les plus connus de l'Antiquité. Originaire de la Grèce antique, il est l'auteur de l'ouvrage « Éléments de mathématiques » où il théorise la géométrie. Dans ce traité, il présente plus de 400 propositions mathématiques, solidement démontrées, dont le célèbre algorithme d'Euclide. Il est également auteur d'autres recueils, comme « Optique », « De la division des figures », « Les phénomènes » ou encore « Les lieux rapportés à la surface ». Euclide enseigne au III<sup>e</sup> siècle avant J.C. à Alexandrie, sous Ptolémée I<sup>er</sup>, où il fonde la plus célèbre école de géométrie de l'Antiquité.

## **Jeff Dean**

Jeffrey Adgate, connu sous le nom de Jeff Dean, est un scientifique et ingénieur américain. Actuellement vice-président chez Google, il est connu pour avoir créé le patron d'architecture MapReduce et avoir travaillé sur le système de stockage BigTable. Jeff Dean est lauréat, avec Sanjay Ghemawat, du prix ACM-Fondation Infosys en informatique de 2012 « pour leur leadership dans le traitement scientifique et l'ingénierie des systèmes distribués à l'échelle de l'internet ».

## **Nancy Lynch**

Nancy Ann Lynch, née en 1948, est une chercheuse américaine en informatique et professeur au MIT. Elle dirige le groupe de recherche sur la théorie des systèmes distribués. Elle a obtenu le prix Knuthen 2007 et le prix Dijkstra en 2001 et 2007.

## Satoshi Nakamoto

Satoshi Nakamoto est le pseudonyme du fondateur inconnu du bitcoin et de la première blockchain. Nakamoto a affirmé être de nationalité japonaise. Cependant, l'on ignore s'il s'agit d'une seule personne ou d'un groupe de personnes, et son origine japonaise est remise en cause par la qualité de son anglais et l'absence totale de publications en japonais. Il est également le créateur du forum bitcointalk.

# ANNEXE II : LEXIQUE

## ACM Fellow

ACM Fellow est un prix que décernent les membres de l'ACM (Association for Computing Machinery) à un autre membre pour le leadership et l'excellence de ses contributions techniques et professionnelles, selon certains critères, comme : participer aux avancées de l'informatique, promouvoir le libre échange d'idées ou encore faire progresser les objectifs d'ACM. Tout au plus, 1 % des membres d'ACM peuvent être distingués du prix « ACM Fellow ».

## Algorithme

Le mot « algorithme » vient du nom du mathématicien Al-Khwârizmî d'origine perse du 9<sup>e</sup> siècle. À ce jour, il est difficile de trouver une définition communément admise du mot « algorithme ». En résumé, un algorithme est un protocole ou une procédure, portant sur un énoncé précis composé d'un ensemble d'instructions et d'opérations ordonnées. Il permet de résoudre un problème particulier, après un nombre d'étapes spécifiques. L'algorithmique est le domaine portant sur l'étude des algorithmes.

## Algorithme réparti

Un algorithme réparti (ou distribué) est une suite d'instructions. Il s'agit généralement d'un algorithme parallèle réparti sur plusieurs sites. Un algorithme réparti décrit le fonctionnement d'un système informatique composé de plusieurs unités de calcul reliées par un réseau de communication, tels que les routeurs dans internet.

## Ariane 5

Ariane 5 est le dernier-né de la famille du lanceur européen Ariane qui se développe depuis une trentaine d'années. La première version d'Ariane s'est élancée de la base spatiale de Kourou en décembre 1979 ; et depuis, les lanceurs Ariane n'ont cessé d'évoluer. En 15 ans, les lanceurs Ariane 1 à 4 ont transporté plus de la moitié des satellites commerciaux du monde entier. Après plus de 20 ans d'exploitation, Ariane 5 sera remplacé à l'horizon 2021, par un lanceur de taille intermédiaire, Ariane 6.

## Bitcoin

Apparu en 2008, le bitcoin est une monnaie cryptographique qui permet d'échanger des biens et des services ainsi que les devises. Elle a été créée par un certain Satoshi Nakamoto, un pseudonyme non identifié. Contrairement aux monnaies traditionnelles, le bitcoin n'est pas administré par une autorité centrale et est conçu pour s'autoréguler. Il est adossé à un système de paiement décentralisé qui n'existe que sous une forme numérique. Cette monnaie virtuelle a un faible coût de transaction et protège contre l'inflation. L'historique des transactions est tenu dans un registre public sécurisé appelé « blockchain ». Ce registre est réputé infalsifiable dans la mesure où il repose sur le principe d'une confiance mutualisée.

## Blockchain

La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle.

Par extension, une blockchain constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création. Cette base de données est sécurisée et distribuée : elle est partagée par ses différents utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne.

Calcul distribué

Un calcul distribué, ou réparti, ou encore partagé, est un calcul ou un traitement réparti sur plusieurs microprocesseurs et plus généralement sur toute unité centrale informatique. Le calcul distribué est souvent réalisé sur des clusters de calcul spécialisés, mais peut aussi être réalisé sur des stations informatiques individuelles à plusieurs cœurs. La distribution d'un calcul est un domaine de recherche des sciences mathématiques et informatiques. Elle implique notamment la notion de calcul parallèle.

## La crypto-monnaie

La crypto-monnaie est un type de monnaie digitale mais avec 3 différences fondamentales :

- La structure : Les monnaies digitales nécessitent une identification de l'utilisateur. Il est nécessaire de fournir une version numérique des papiers d'identité alors que cela n'est pas nécessaire avec les crypto-monnaies. Néanmoins les crypto-monnaies ne sont pas entièrement anonymes car elles requièrent une adresse enregistrée dans la blockchain.
- La transparence : Les monnaies digitales ne sont pas transparentes. Avec une adresse, il n'est pas possible de vérifier les transactions réalisées avec une monnaie digitale. Cette information est confidentielle. Au contraire, les crypto-monnaies sont transparentes. N'importe qui peut aller dans la Blockchain publique et connaître les transactions passées de n'importe quelle adresse.
- La manipulation : Les monnaies digitales possèdent une autorité centralisée qui gère les problèmes. Celle-ci peut annuler ou geler certaines transactions en cas de suspicions de fraude ou de blanchiment d'argent. Les crypto-monnaies sont, elles, régulées par la communauté. C'est précisément le système de cryptographie et de décentralisation de la vérification des transactions qui empêche toute fraude.

## Data Scientist

Le terme « Data Scientist » a été créé en 2008 par deux ingénieurs de Facebook et LinkedIn. Ce métier, qui fait partie des nouveaux métiers incontournables du Big Data, requiert des compétences spécifiques. Un Data Scientist est chargé de la collecte, de la gestion, de l'analyse et de l'exploitation des données, généralement massives, complexes et déstructurées, pour les transformer et les restituer sous forme de prospective et de conseil, dans l'objectif de résoudre des problématiques spécifiques.



## L'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

L'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) est une université technique, spécialisée dans le domaine de la science et de la technologie, située à Lausanne (sur le territoire de la commune d'Ecublens), en Suisse. Elle a été fondée en 1853 sous le nom d'École spéciale de Lausanne.

## ERC Advanced Grant (European Research Council)

Il s'agit d'un programme de bourses du Conseil Européen de la Recherche (ERC) lancé en 2007. Son objectif est de permettre à des scientifiques reconnus dans leur domaine de mener des projets de recherche novateurs et à haut risque, ouvrant de nouvelles voies dans différentes disciplines. La durée des projets ne dépasse pas cinq ans et le budget attribué atteint un maximum de 2,5 millions d'euros par projet. En 2019, 222 chercheurs et chercheuses se sont vu décerner cette bourse.

## Flash crash de 2010

Depuis le 6 mai 2010, jour où un krach éclair boursier a eu lieu à Wall Street, le terme « flash crash » fait référence à une version accélérée d'un krach boursier. En cette journée, Wall Street a connu un effondrement en l'espace de quelques minutes. Dans un marché volatil en raison de l'instabilité politique et économique en Grèce, les indices américains et autres produits dérivés ont perdu près de 10 % de leur valeur, avant de reprendre quelques minutes plus tard. Dans l'intervalle, 1 000 milliards de dollars de capitalisation boursière ont disparu avant de réapparaître. Ce trou noir est expliqué par la conjonction de mauvaises conditions de marché et d'un ordre de vente massif mal exécuté.

## Les GAFA

Cet acronyme apparu au milieu des années 2000 est formé par les initiales des géants du Web, en l'occurrence Google, Apple, Facebook, Amazon. Ces quatre entreprises leaders de l'économie numérique partagent des caractéristiques communes, à savoir leur envergure mondiale, leurs larges bases d'utilisateurs, leurs chiffres d'affaires considérables ainsi que leurs capacités d'innovation. Considérées comme les entreprises stars de la Silicon Valley, les GAFA (ou GAFAM, si l'on rajoute Microsoft) affichent des capitalisations boursières supérieures aux PIB de nombreux pays comme l'Allemagne, la France ou le Royaume-Uni. D'autres acronymes ont également vu le jour pour désigner d'autres entreprises numériques émergentes, à l'image des NATU (Netflix, Air BnB, Tesla et Uber), et des BATX chinoises (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi).

## Google Focused Research Award

Le « Google Focused Research Award » est un programme développé par Google en 2005 pour soutenir des projets ambitieux dans des domaines clés en ingénierie informatique (Intelligence artificielle, Sécurité, Interactions sociales, Algorithmes et optimisation mathématique...).

## The Imitation Game

The Imitation Game (ou Le jeu de l'imitation) est un film biographique américain réalisé par Morten Tyldum, sorti en salles en 2014. Il s'agit de l'adaptation cinématographique de la biographie d'Alan Turing ou l'énigme de l'intelligence (Alan Turing: The Enigma). Le film est inspiré de la vie du mathématicien et cryptanalyste britannique Alan Turing durant la Seconde Guerre mondiale alors qu'il travaillait à Bletchley Park. Le titre du film fait référence à l'article écrit par Alan Turing en 1950 pour présenter ses recherches sur l'intelligence artificielle et notamment le test de Turing.

## Intelligence artificielle

Souvent connu sous sa forme abrégée « IA », ce concept est né dans les années 1950 avec les travaux d'Alan Turing, de John McCarthy et de Marvin Lee Minsky. L'intelligence artificielle est une discipline qui relève du domaine scientifique et technologique, dont l'objet est de faire exécuter par des dispositifs informatiques et robotiques, des processus cognitifs jusque-là réservés aux capacités humaines.

## Jeu de Go

Souvent comparé aux échecs, le Go est un des plus anciens jeux connus. Jeu de stratégie et de réflexion très répandu en Extrême-Orient, il se joue à deux et consiste à former des territoires en posant des pions ou des pierres sur un plateau constitué de 19 lignes horizontales et 19 lignes verticales formant une grille de 361 intersections. Le principe est de marquer plus de points que l'adversaire en créant plus de territoires que lui ou en capturant ses pierres. Chaque joueur a un nombre illimité de pierres de sa couleur (noires et blanches).

## Lemme de Sperner

En mathématiques, le lemme de Sperner, dû à Emanuel Sperner, un mathématicien allemand (1905-1980), est un analogue combinatoire du théorème du point fixe de Brouwer. Le lemme de Sperner affirme que chaque coloriage de Sperner d'une triangulation d'un simplexe de dimension  $n$  contient une cellule colorée de toutes les  $n + 1$  couleurs. Le premier résultat de ce type fut démontré par Emanuel Sperner en 1928, en relation avec des preuves du théorème de l'invariance du domaine. Les coloriages de Sperner ont été utilisés pour des déterminations effectives de points fixes, dans des algorithmes de résolution d'équations, et sont employés dans des procédures de partage équitable.

## Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Le Massachusetts Institute of Technology (MIT) est un institut de recherche américain et une université, spécialisé dans les domaines de la science et de la technologie. Situé à Cambridge, dans l'État du Massachusetts, à proximité immédiate de la ville de Boston, au Nord-Est des États-Unis, le MIT est souvent considéré comme l'une des meilleures universités mondiales. Il édite la *Technology Review*, une revue scientifique consacrée aux sciences de l'ingénieur et à l'innovation.

## La société Mediego

Créée en avril 2015 par Anne-Marie Kermarrec, ancienne directrice de recherche chez Inria (Institut national de recherche dédié aux sciences du numérique), Mediego est une startup proposant une solution agile pour personnaliser des données complexes collectées en ligne. Cette solution, fruit de quatre années de recherche au sein des laboratoires Inria, permet de cibler, en temps réel, grâce à un algorithme de filtrage, le profil des internautes, à partir de leur navigation sur le web, et de leur proposer des produits ou des services personnalisés dès les premiers clics.

## Monnaie digitale

Les monnaies digitales sont des monnaies utilisées sur internet. La monnaie digitale existe seulement sous forme digitale. Elle n'a pas d'équivalent physique. Néanmoins, elle a toutes les caractéristiques d'une monnaie traditionnelle. Tout comme les monnaies classiques, il est possible d'en obtenir, de les transférer ou de les échanger contre d'autres monnaies. Il est possible de l'utiliser pour payer des biens et des services. Les monnaies digitales n'ont pas de frontières politiques ou géographiques.

## **Pascaline**

Appelée aussi la Machine de Pascal, cette œuvre a été conçue par Blaise Pascal pour aider son père dans sa tâche de collecte des impôts et réduire la marge d'erreur. Datant de 1642, la Pascaline est la première machine à calculer, connue dans l'histoire, permettant de procéder à des additions, des soustractions, des multiplications et des divisions.

## **« The Next Rembrandt »**

Rembrandt est un peintre baroque hollandais du 17<sup>e</sup> siècle ayant réalisé près de 400 peintures, 300 dessins et une centaine d'autoportraits. Il est considéré comme l'un des plus grands peintres de l'histoire de l'art. Le mardi 5 avril 2016, un « nouveau Rembrandt » a été dévoilé, réalisé par un ordinateur. En utilisant la technologie 3D et le deep learning, un groupe d'historiens de l'art, de développeurs et de scientifiques ont programmé un algorithme pour analyser les œuvres de l'artiste, donnant ainsi naissance, en l'espace de 18 mois, à un tableau original baptisé « The Next Rembrandt ». Cette expérience a été menée par Microsoft, en collaboration avec la banque ING, l'université de Delft et deux musées néerlandais.

## **Sudoku**

Jeu de logique d'origine japonaise. Le sudoku classique contient neuf lignes et neuf colonnes, donc 81 cases au total. Le but du jeu est de remplir ces cases avec des chiffres allant de 1 à 9, en veillant toujours à ce qu'un même chiffre ne figure qu'une seule fois par colonne, une seule fois par ligne, et une seule fois par carré de neuf cases.

## **Ubérisation**

L'ubérisation, du nom de l'entreprise Uber, est un phénomène récent dans le domaine de l'économie consistant en l'utilisation de services permettant aux professionnels et aux clients de se mettre en contact direct, de manière quasi instantanée, grâce à l'utilisation des nouvelles technologies.

La rencontre en images













## LA FONDATION Attijariwafa bank, UN ACTEUR CITOYEN AU SERVICE DU DÉBAT & L'ÉDITION, DE L'ÉDUCATION ET DE L'ART & LA CULTURE

La Fondation Attijariwafa bank déploie toute son énergie et son savoir-faire depuis plusieurs décennies, en soutenant trois domaines essentiels pour le développement de notre pays, à savoir le débat d'idées & l'édition, l'éducation, l'art et la culture.

Le pôle Édition & Débats a pour mission de promouvoir un débat constructif sur des problématiques économiques, sociales, sociétales, et culturelles. À travers son cycle de conférences « Échanger pour mieux comprendre », le pôle offre une plateforme ouverte aux opérateurs, acteurs de la société civile, étudiants et enseignants universitaires, afin de favoriser l'échange avec les experts marocains et étrangers. Par ailleurs, le pôle Édition & Débats apporte son soutien à la publication de livres et manuscrits, et assure la diffusion de travaux de recherche et de productions intellectuelles réalisés par les entités de la banque.

Le pôle Éducation apporte un appui à l'enseignement sur l'ensemble de sa chaîne de valeur, du préscolaire au supérieur, afin de contribuer à la réduction des taux d'abandon et d'échec scolaire. Le pôle initie ainsi de nombreuses actions structurantes dans ce domaine comme le programme d'appui au préscolaire en faveur du quartier de Sidi Moumen à Casablanca ; le soutien à l'amélioration de la qualité du primaire au niveau des établissements publics ; et le soutien aux élèves de classes préparatoires dans leur préparation aux concours d'accès aux grandes écoles, à travers les semaines de concentration et l'amélioration de la qualité

de vie dans les centres de classes préparatoires. Par ailleurs, le pôle Éducation a fait preuve d'innovation en créant, en partenariat avec Banco Santander, le master « Banque et Marchés Financiers » ainsi que le portail et la carte Jamiati.

Le pôle Éducation est également engagé en faveur de l'encouragement de l'esprit d'entrepreneuriat et l'accompagnement des jeunes promoteurs. Enfin, le soutien aux associations en faveur des populations démunies ou en situation précaire constitue un axe d'intervention majeur du pôle.

Le pôle Art & Culture est un acteur majeur dans la démocratisation de l'accès à la culture et à l'éducation artistique des jeunes. Depuis plusieurs années, le pôle apporte un soutien à la création artistique contemporaine et facilite l'intégration des jeunes talents dans le circuit artistique. De même, il accompagne les projets universitaires et associatifs visant l'épanouissement artistique en milieu scolaire et universitaire. Initiateur de plusieurs expositions monographiques ou collectives, le pôle Art & Culture contribue à la promotion des artistes africains et fait de l'art, un vecteur de rapprochement et d'échange interrégional. Il assure, enfin, la conservation et la valorisation du patrimoine artistique du groupe Attijariwafa bank.

Dans chacun de ses trois pôles, la Fondation Attijariwafa bank a développé une expertise qu'elle met au service de la communauté ou tissé des partenariats solides avec des associations de renom afin d'optimiser la portée de ses initiatives citoyennes.





التجاري وفا بنك  
Attijariwafa bank

**Croire en vous**

[attijariwafabank.com](http://attijariwafabank.com)