

# SCIENCES ECHOS

## CONFÉRENCES DE CHERCHEURS EN ECONOMIE





# SCIENCES ECHOS

## CONFÉRENCES DE CHERCHEURS EN ECONOMIE

### Progrès technique et Intelligence Artificielle

Raouf Boucekkine (AMSE)

26 novembre 2024



*Mes activités de recherche au cours de la dernière décennie m'ont mis en contact avec les développements dans l'utilisation des ordinateurs électroniques numériques. Ces ordinateurs sont surprenants, même dans un monde où l'énergie atomique et les perspectives de voyage dans l'espace ne posent aucun problème. **L'ordinateur et les nouvelles techniques de prise de décision qui lui sont associées entraînent des changements dans le travail des cols blancs, des cadres et des professions libérales aussi importants que ceux que l'introduction des machines a apportés aux emplois manuels.***

(Herbert Simon, 1960, Prix Nobel d'économie)



Trois décennies plus tard : émergence de la 'Nouvelle Economie' (*New Economy*)... **Et les mêmes questions, avec !**

Aux États-Unis, l'explosion des technologies de l'information et de la communication (TIC) et la croissance spectaculaire de la productivité qui s'en est suivie dans le secteur des biens durables, en particulier dans le secteur informatique (environ 42% par an de 1995 à 1999), ont conduit certains macroéconomistes distingués à affirmer qu'une **Nouvelle économie** était née : une **Troisième Révolution Industrielle** semblait être en marche !

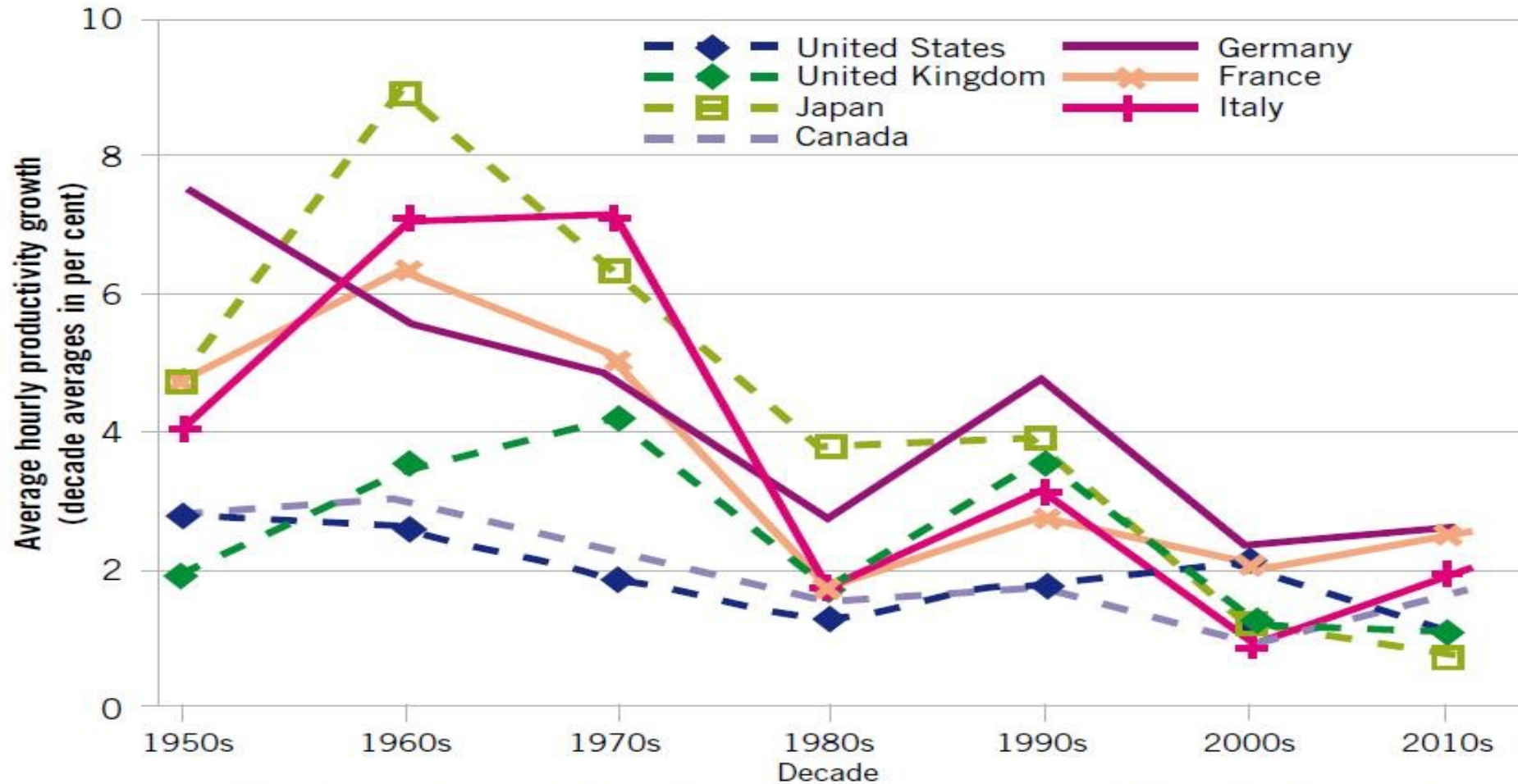
C'était la belle époque de la *Clinton expansion* : une faible inflation, une croissance durable et un chômage quasi inexistant pendant près d'une décennie : fin des cycles économiques !

**Est-ce que le cycle économique a disparu pour autant ?!!**



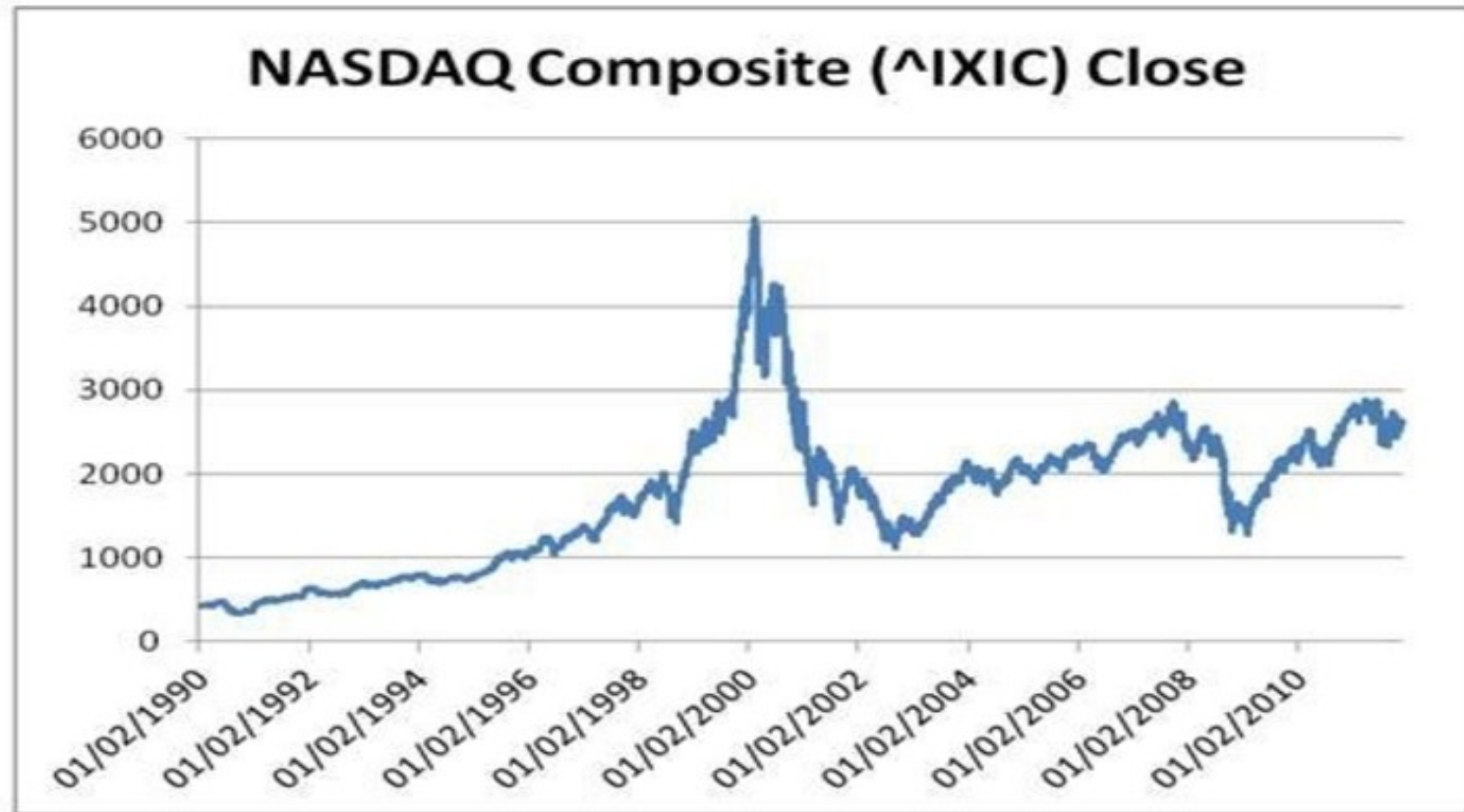


## Impact de l'automatisation liée aux TIC : La croissance de la productivité du travail (Ernst et al, 2018, ILO)



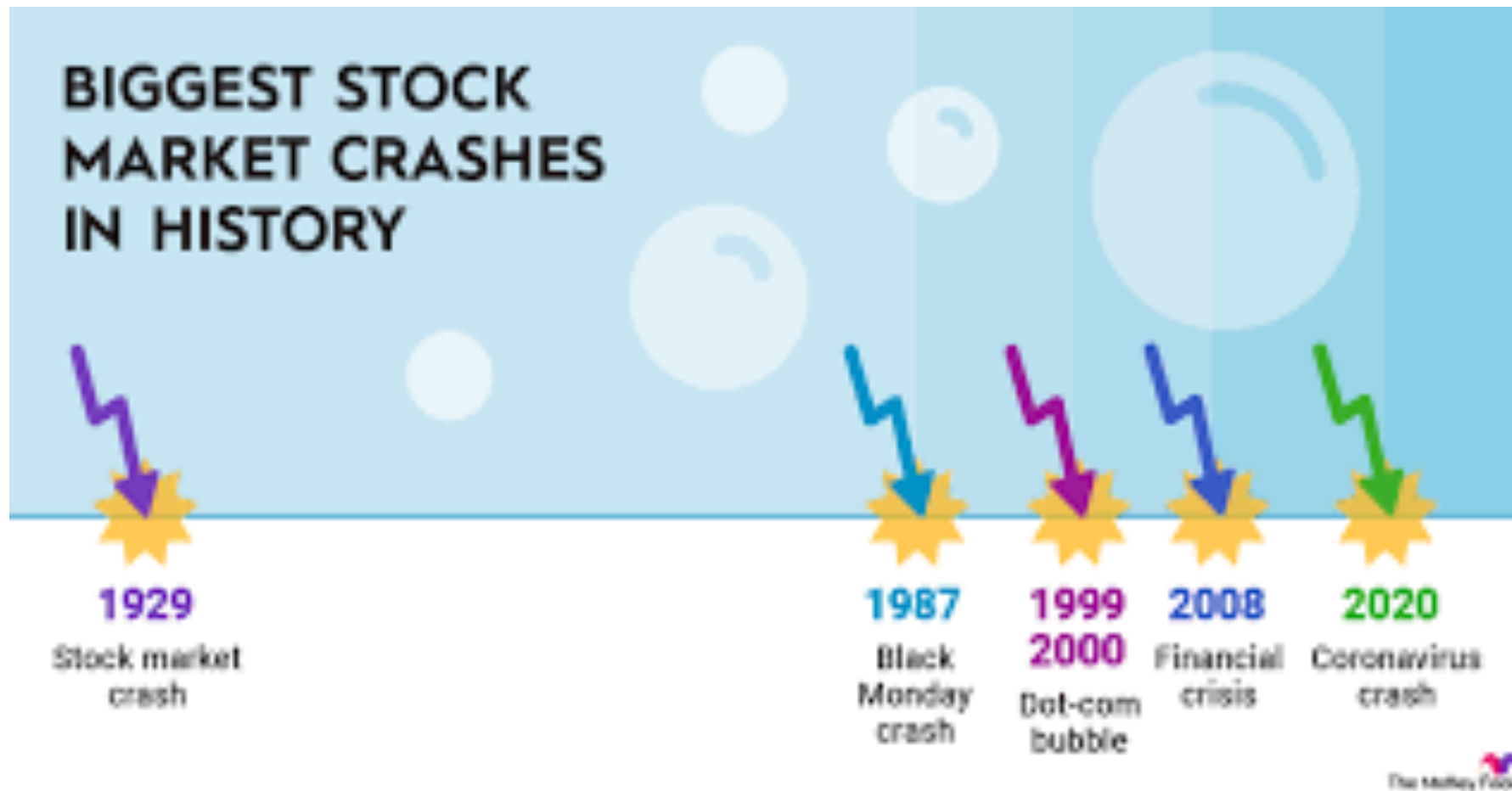
Source: Penn World Tables version 9, available at: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/>; authors' calculations.

## L'éclatement de la bulle Internet





## Les plus grands krachs boursiers de l'histoire



## The Worst Stock Market Crashes of the 21st Century

Largest single-day percentage losses of the Dow Jones Industrial Average since 2000



Source: Yahoo! Finance





## L'éclatement de la bulle internet



La bulle internet a été causée par un accroissement abrupt de la valorisation boursière des entreprises technologiques US, alimentée par les investissements dans les sociétés liées à Internet pendant le marché haussier des années 90.



La valeur des marchés boursiers a connu une croissance exponentielle pendant cette période, l'indice Nasdaq, dominé par les entreprises technologiques, passant de moins de 1000 à plus de 5000 entre 1995 et 2000.



A partir de 2000, les choses commencent à changer, et l'éclatement de la bulle se produit entre 2001 et 2002 : une chute vertigineuse d'un pic à 5048 le 10 Mars 2000 à 1140 le 10 Octobre 2002, soit une perte de plus de 75% !



Combinaison de la présence d'investissements spéculatifs, de l'abondance de financement en capital-risque pour les start-ups, et l'incapacité des sociétés internet à faire des bénéfices.



Trop d'argent dépensé en publicité (jusqu'à 90% des budgets)...et une valeur ajoutée technologique par trop limitée.



## Questions d'expert Raouf Boucekkine Le procès de la nouvelle économie est toujours en cours

Article réservé aux abonnés



Par Philippe Servaty

Publié le 6/07/2002 à 00:00 | Temps de lecture: 2 min

Questions d'expert Raouf Boucekkine



## Pourquoi l'IA est potentiellement différente ?

Le débat sur l'impact macro des TIC a tourné rapidement sur la capacité de la robotisation et de l'automatisation à stimuler la croissance de la productivité agrégée sans inconvénients socio-économiques majeurs. **Le même débat se déroule actuellement sur les Intelligences Artificielles (IAs).**

**Important :** Cependant, le lien qui est fait entre TIC et IA est souvent trop rapide. Comme on le verra, bien entendu les IAs peuvent faciliter encore plus les processus de robotisation et d'automatisation, mais elles ne sont pas réductibles à ces utilisations spécifiques.

Outre l'éventail des tâches et des secteurs fondamentalement affectés par les vagues d'innovations dues aux IA, un **débat clé porte sur la capacité potentielle des IA à peser sur, voire à conduire, la production (autonome) des « idées » (tâches cognitives complexes)**. Ce qui (r)ouvre un champs de discussion passionnant en **éthique et philosophie des sciences**, et qui engendre déjà nombre de questionnements sur la régulation des IAs, y compris de la recherche en IAs.



National  
Bureau of  
Economic  
Research

## THE ECONOMICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

### *An Agenda*

Edited by Ajay Agrawal,  
Joshua Gans, and Avi Goldfarb



5

RESEARCH PAPER

ILO FUTURE OF WORK  
RESEARCH PAPER SERIES

## The economics of artificial intelligence: Implications for the future of work

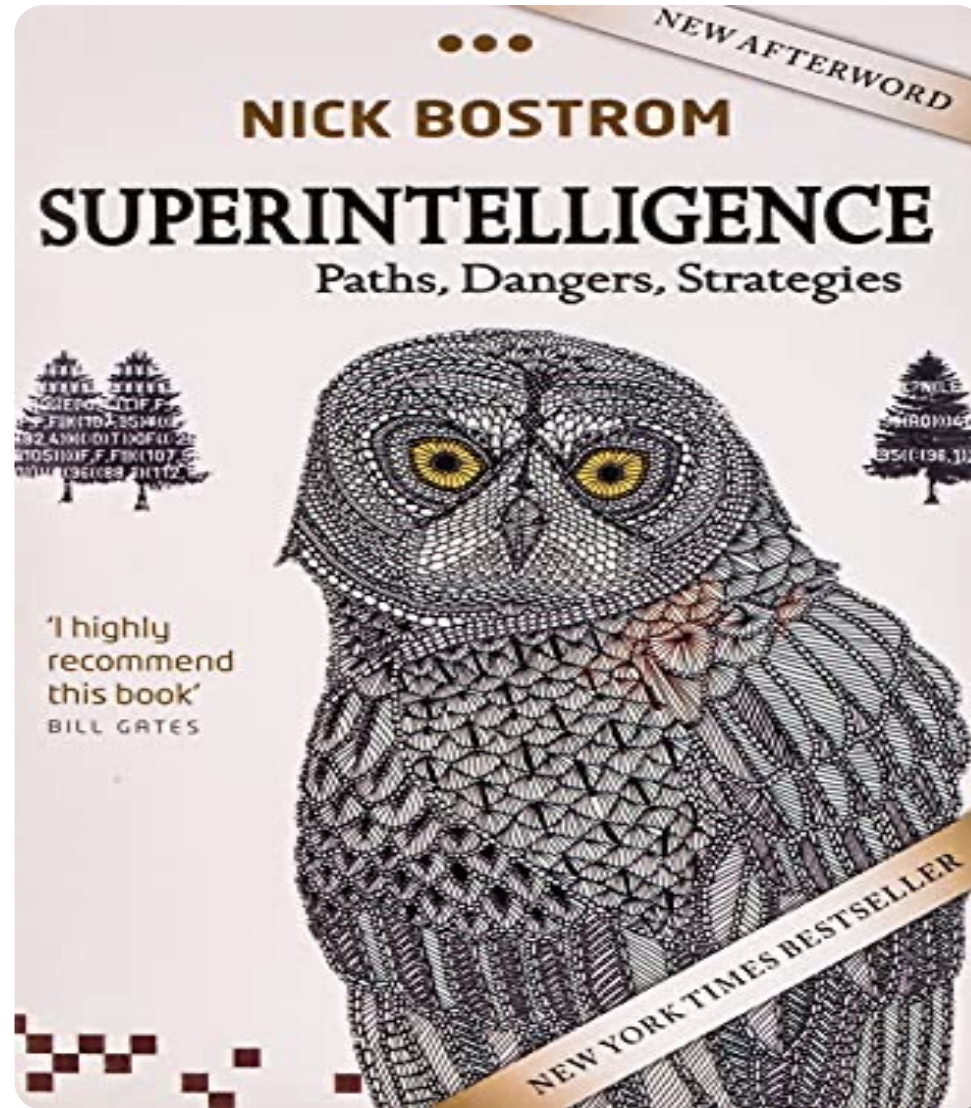


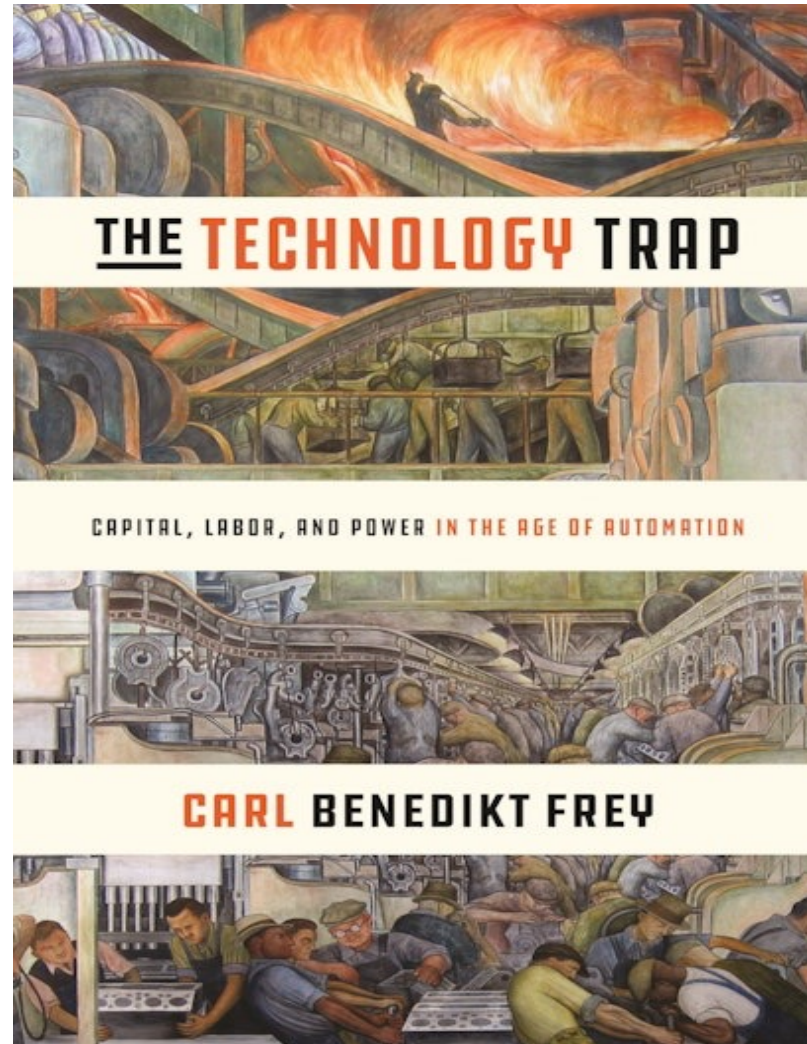


▶ **Robotics and reshoring**  
Employment implications  
for developing countries

Fernanda Bárcia de Mattos  
Sukti Dasgupta  
Xiao Jiang  
David Kucera  
Ansel F. Schiavone







# Plan

1. **Introduction**
2. **Qu'est-ce qu'une IA ?**
3. **TIC vs IAs : Impacts socio-économiques**
4. **Quelques débats ouverts et défis**
5. **À emporter**

## **2. Qu'est-ce qu'une IA ?**



### Trois points importants

**Les IA n'ont rien de " magique " :** elles sont basées sur des théories et des techniques mathématiques, avec des propriétés bien précises.

**Ces techniques** (théories d'approximation, optimisation,...) **sont pour la plupart connues depuis quelques décennies au moins**, mais elles ont été perfectionnées au cours du temps, et leur opérationnalité améliorée grâce au développement exponentiel de la capacité de calcul des ordinateurs et du big data.

**Ces techniques ont néanmoins à l'heure actuelle leurs limites** physiques et théoriques (ex. généralisation)

**Au départ : Apprentissage automatique, IA & *big data*...**

**Puis...**

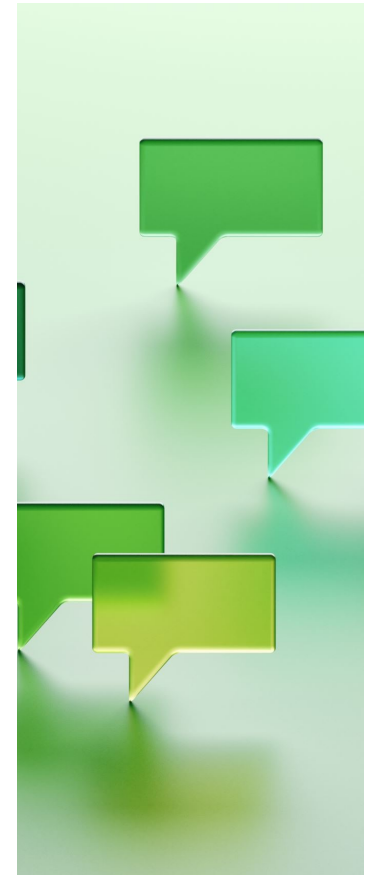
- **Exemple populaire** : reconnaissance d'image (projet ImageNet)
- En économie/finance : **classification/clustering/prévision**
- **De l'apprentissage supervisé au non-supervisé**
- **Des cadres computationnels de plus en plus affinés et complets** :  
`entraînement " sur big data, tests sur données hors échantillon, "petites"  
généralisations....
- **Recherche active sur les fondements mathématiques** (théories de  
l'approximation, optimisation, théories de généralisation...)

### ChatGPT s'appuie-t-il sur un apprentissage supervisé ou non supervisé ?

ChatGPT est «entraîné» à l'aide d'une combinaison d'apprentissage supervisé et non supervisé.

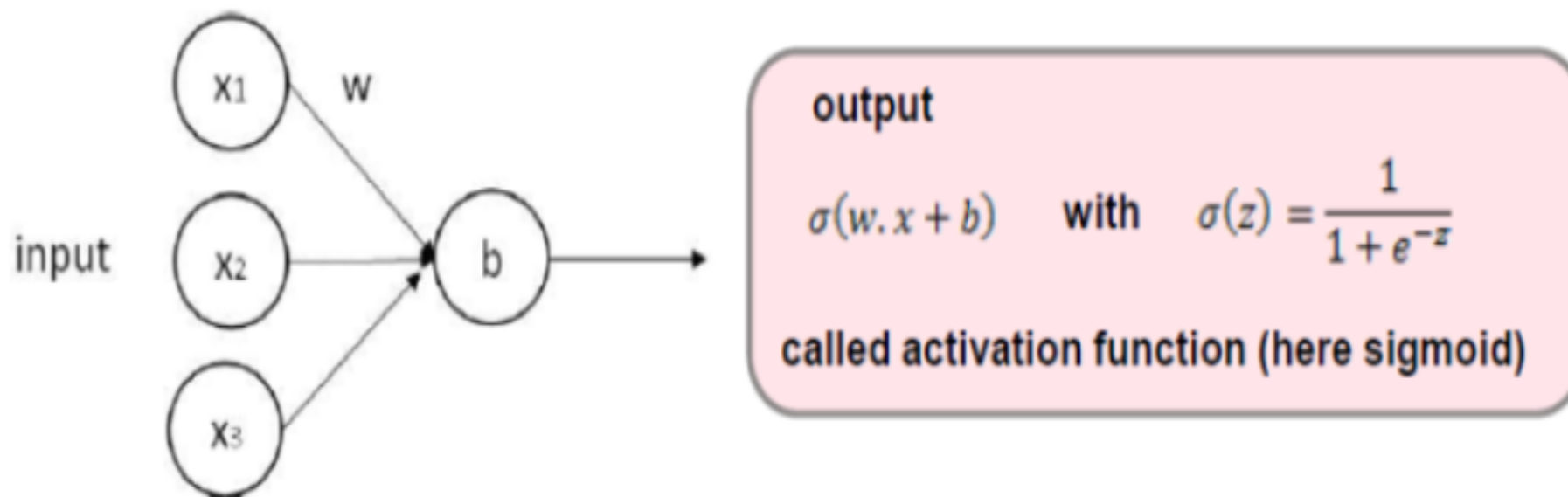
Pour l'**apprentissage supervisé**, il est «entraîné» sur un **grand ensemble de données de textes générés par l'homme, tels que des données de dialogue ou des conversations en ligne**. Cela lui permet d'apprendre la structure et le style du langage naturel (algorithme **NLP**).

Pour l'**apprentissage non supervisé**, il est formé en utilisant **un objectif de modélisation du langage, qui consiste à prédire le mot suivant dans une séquence de texte**. Cela lui permet d'apprendre les modèles et les caractéristiques générales du langage et de générer des textes fluides et cohérents.



### L'émergence des réseaux de neurones

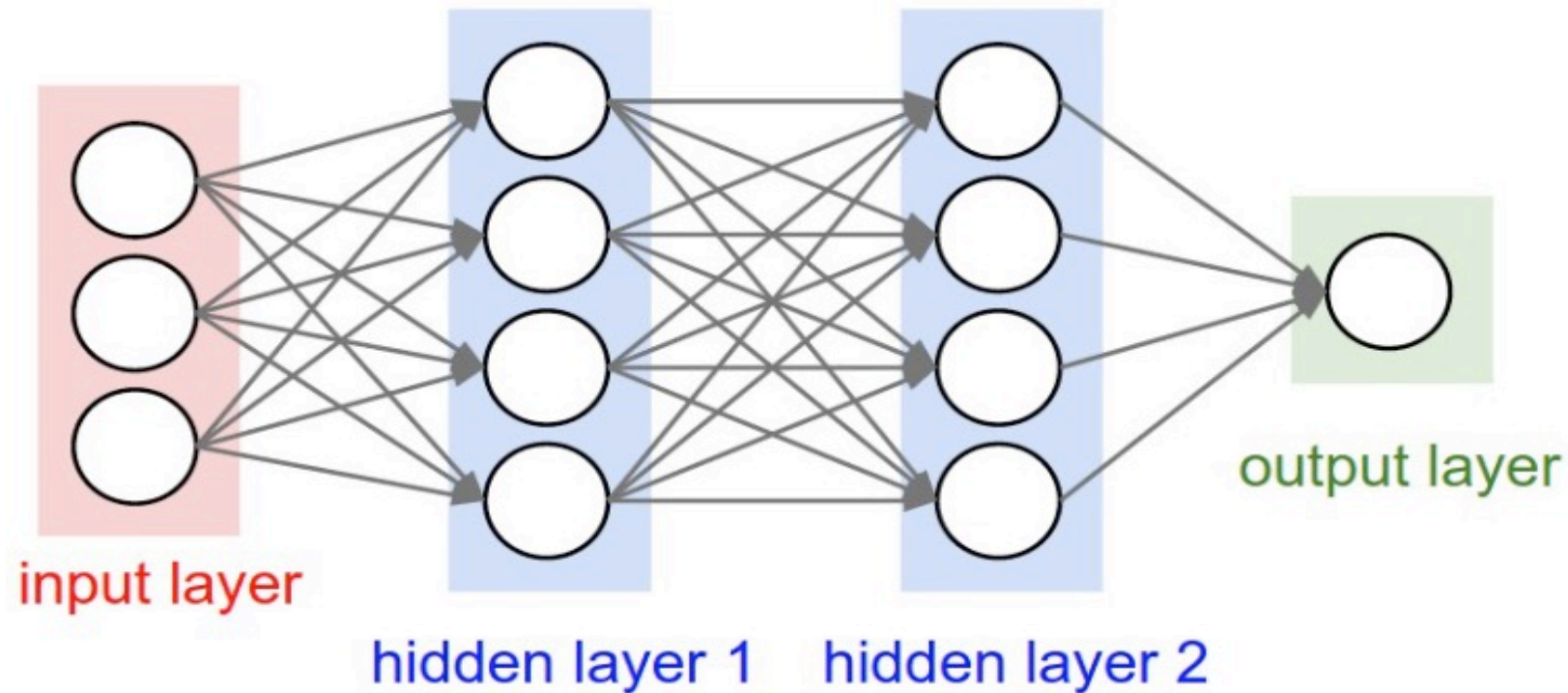
Qu'est-ce qu'un neurone artificiel ?





## 2. Qu'est-ce qu'une IA ?

### 'Deep learning' ou apprentissage en profondeur



### Quelques notions utiles

**Poids** : Les poids d'un réseau neuronal artificiel (RNA, ou ANN en anglais) sont des valeurs numériques associées aux connexions entre les neurones (ou nœuds) dans les différentes couches du réseau. **Chaque connexion d'un neurone à un autre a un poids associé qui indique la force et la direction (positive ou négative) de l'influence d'un neurone sur un autre.**

**Fonctions d'activation** : La fonction d'activation d'un nœud dans un ANN est une fonction qui calcule la sortie du nœud en fonction de ses entrées individuelles et de leurs poids. **Les problèmes non triviaux peuvent être résolus en utilisant seulement quelques nœuds si la fonction d'activation est *non linéaire* (théorème d'approximation universelle).**

**Optimisation** : des techniques d'optimisation sont nécessaires pour un choix optimal des poids. Généralement, une fonction de coût mesurant l'écart entre la sortie souhaitée et la sortie réelle du réseau doit être minimisée.

**Apprentissage en profondeur** : Utilise **plusieurs couches de neurones comme dans un cerveau humain**. Problèmes d'optimisation à plus grande échelle, nécessitant donc des données beaucoup plus importantes (big data) et des ordinateurs beaucoup plus puissants.



# nature

[nature](#) > [review articles](#) > article

Review Article | [Published: 27 May 2015](#)

## Deep learning

[Yann LeCun](#) , [Yoshua Bengio](#) & [Geoffrey Hinton](#)

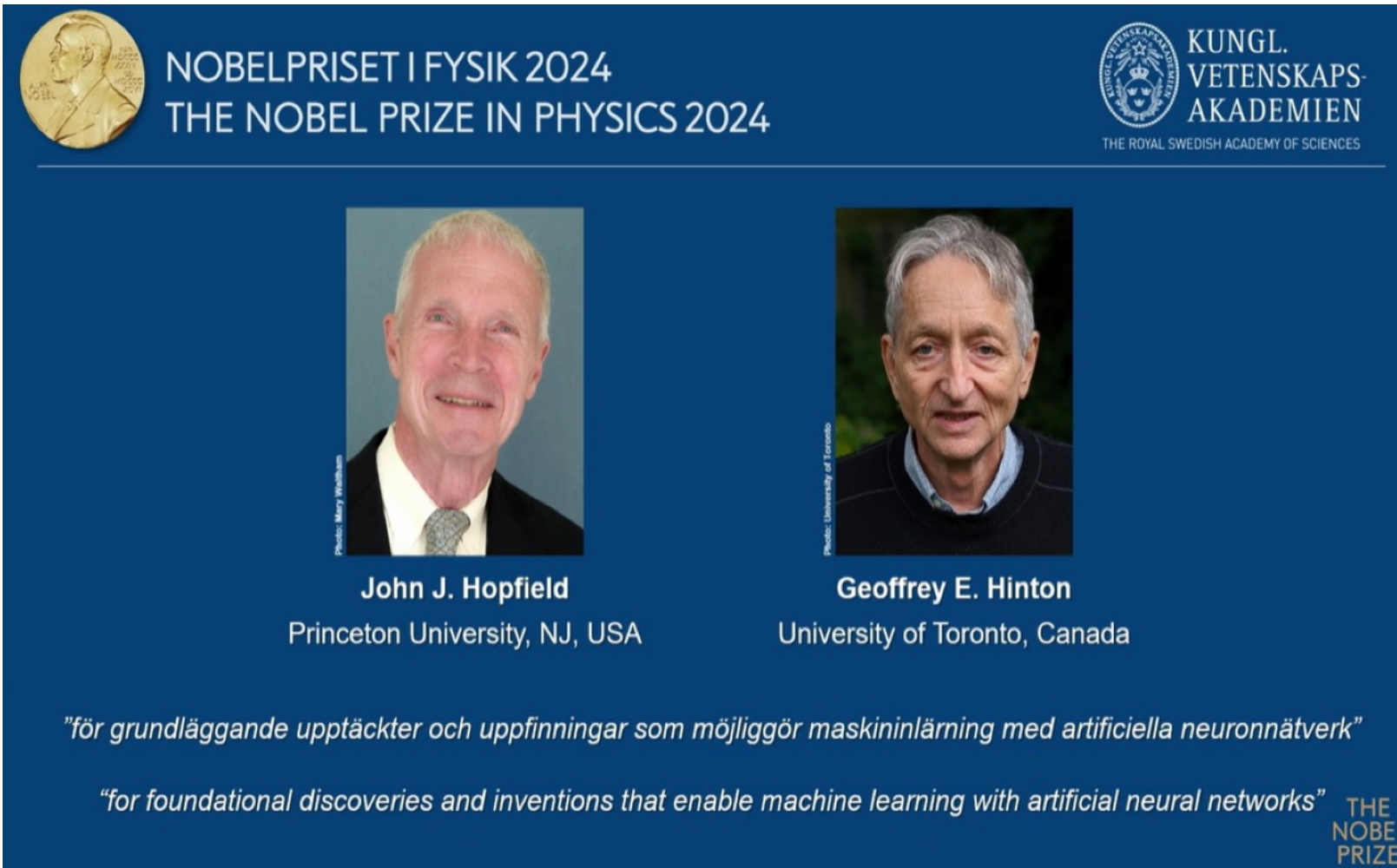
*Nature* **521**, 436–444 (2015)


**925k** Accesses | **37k** Citations | **1294** Altmetric | [Metrics](#)


### Abstract


Deep learning allows computational models that are composed of multiple processing layers to learn representations of data with multiple levels of abstraction. These methods have dramatically improved the state-of-the-art in speech recognition, visual object recognition, object detection and many other domains such as drug discovery and genomics. Deep learning discovers intricate structure in large data sets by using the backpropagation algorithm to indicate how a machine

## 2. Qu'est-ce qu'une IA ?




 NOBELPRISET I FYSIK 2024  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2024

 KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

  
Photo: Mary Whitham

**John J. Hopfield**  
Princeton University, NJ, USA

  
Photo: University of Toronto

**Geoffrey E. Hinton**  
University of Toronto, Canada

*”för grundläggande upptäckter och uppfinningar som möjliggör maskininlärning med artificiella neuronätverk”*

*“for foundational discoveries and inventions that enable machine learning with artificial neural networks”*

THE NOBEL PRIZE



# Principes techniques connus et appliqués depuis les années 80, notamment en économie et finance !

*Computer Science in Economics and Management* 1 (1988) 163–174.  
© 1988 by Kluwer Academic Publishers.

## Parallel Distributed Processing Models for Economic Systems and Games

KISLAYA PRASAD

*Department of Economics, 475 Bellamy Building, Florida State University, Tallahassee, FL 32306,  
U.S.A.*

(Received: 11 August 1988)

**Abstract.** This paper develops the idea that **neural networks and other parallel models** of computation provide a natural way in which to model the working of an economic system. Conversely, computational models implicit in descriptions of economic and social systems can provide us with very general methods and techniques which could be useful in other applications using neural networks. In general, both these research areas share a common concern with the problem of computation in parallel networks.

**Key words.** Cellular automata, economic systems, game theory, neural networks.

### Exemple plus récent (2018)

International Journal of Forecasting 34 (2018) 440–455



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

### International Journal of Forecasting

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ijforecast](http://www.elsevier.com/locate/ijforecast)



### Forecasting bank failures and stress testing: A machine learning approach



Periklis Gogas, Theophilos Papadimitriou, Anna Agrapetidou \*

*Democritus University of Thrace, Department of Economics, Komotini 69100, Greece*

#### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Machine learning  
Bank failures  
Stress testing  
Forecasting

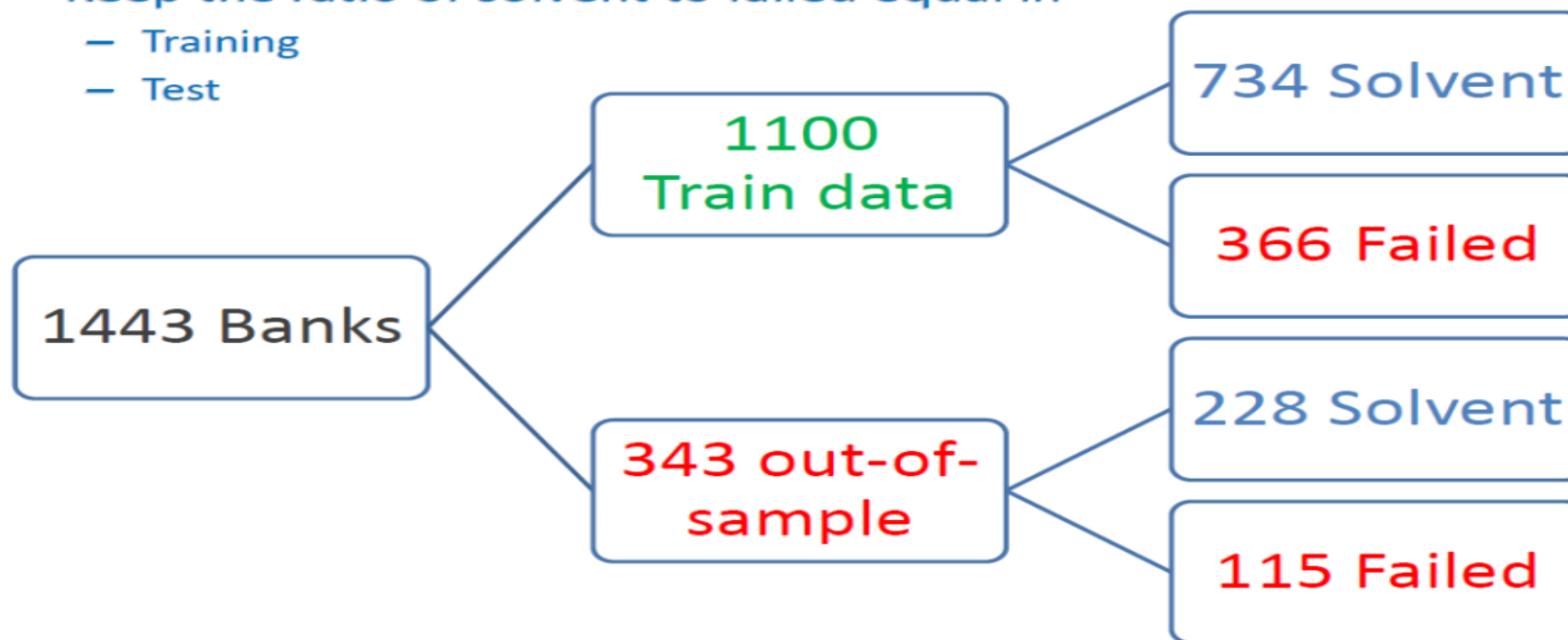
#### ABSTRACT

This paper presents a forecasting model of bank failures based on machine-learning. The proposed methodology defines a linear decision boundary that separates the solvent banks from those that failed. This setup generates a novel alternative stress-testing tool. Our sample of 1443 U.S. banks includes all 481 banks that failed during the period 2007–2013. The set of explanatory variables is selected using a two-step feature selection procedure.

## 2. Qu'est-ce qu'une IA ?

### Cadre computationnel type : entraînement, test mais... généralisation hors de portée

- Use **all failed 481 banks** and a ratio of **2:1** solvent to fail
- Keep the ratio of solvent to failed equal in
  - Training
  - Test



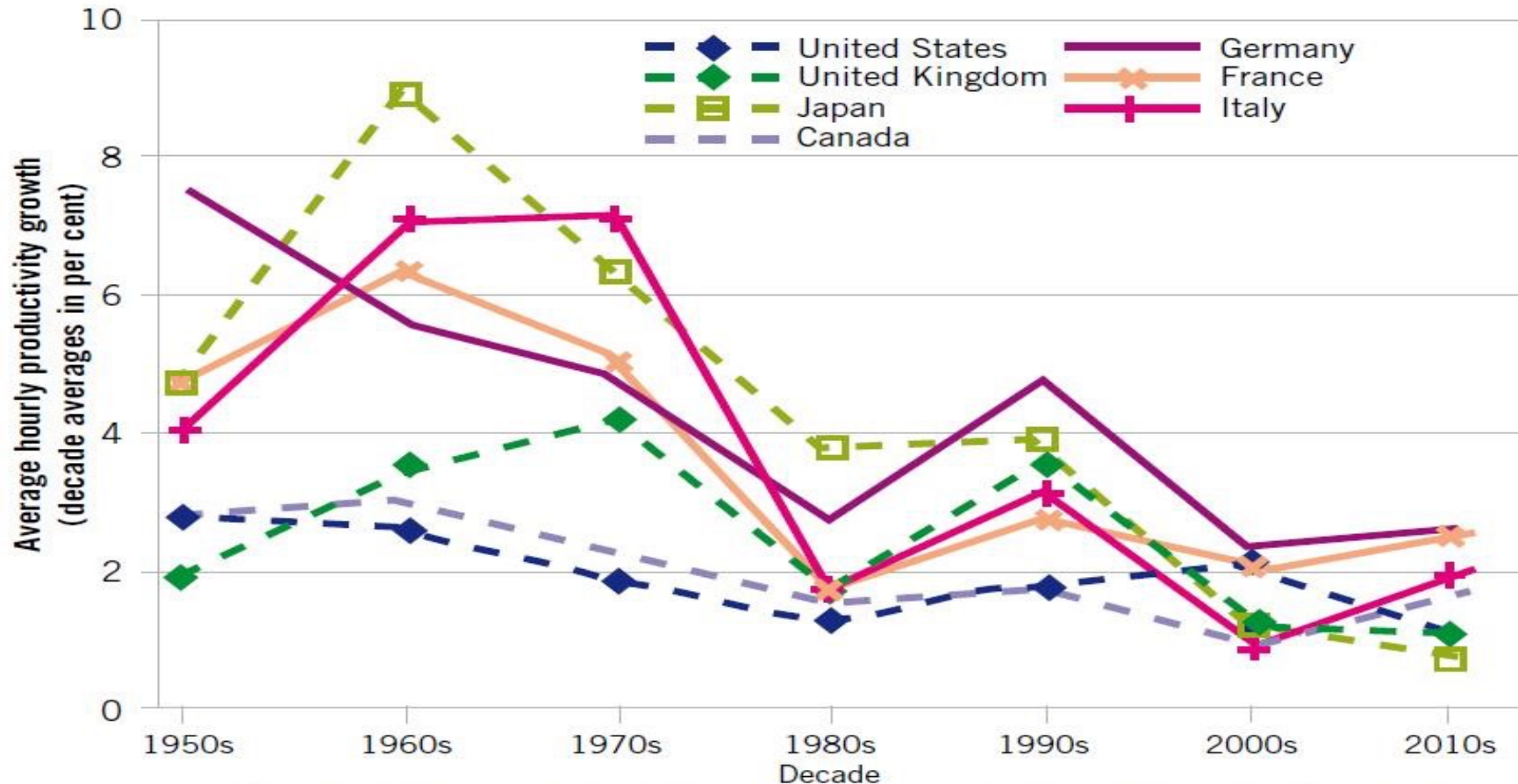
## **3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques**



### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.1 Impact des TIC: investissement et automatisation

## Impact de l'automatisation liée aux TIC : la croissance de la productivité du travail (Ernst et al, 2018, ILO)



Source: Penn World Tables version 9, available at: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/>; authors' calculations.

## Théorie I : Pourquoi les TIC n'ont pas relancé significativement la croissance agrégée?

- Le point de départ est d'identifier le caractère singulier du progrès technique véhiculé par les TIC (et les IAs). Il s'agit d'un progrès technique dit **incorporé** (*embodied technological progress*): les innovations technologiques sont incorporées **exclusivement** dans de nouveaux biens de capital. **Ce n'est pas comparable à l'électrification qui bénéficie à tous les biens de capital quelque soit leur âge.**
- Théoriquement, ce progrès technique exclut par conséquent une bonne partie du stock de capital. Par ailleurs, il induit de facto des **coûts d'obsolescence** substantiels.
- Qu'est ce qui a donc conduit à l'essor des TIC malgré cela? **C'est la chute du prix relatif du capital** (et singulièrement celui des TIC) depuis le milieu des années 70, après l'invention du chip électronique et la production de masse par Dell Corporation (à la fin des années 60). Miniaturisation.

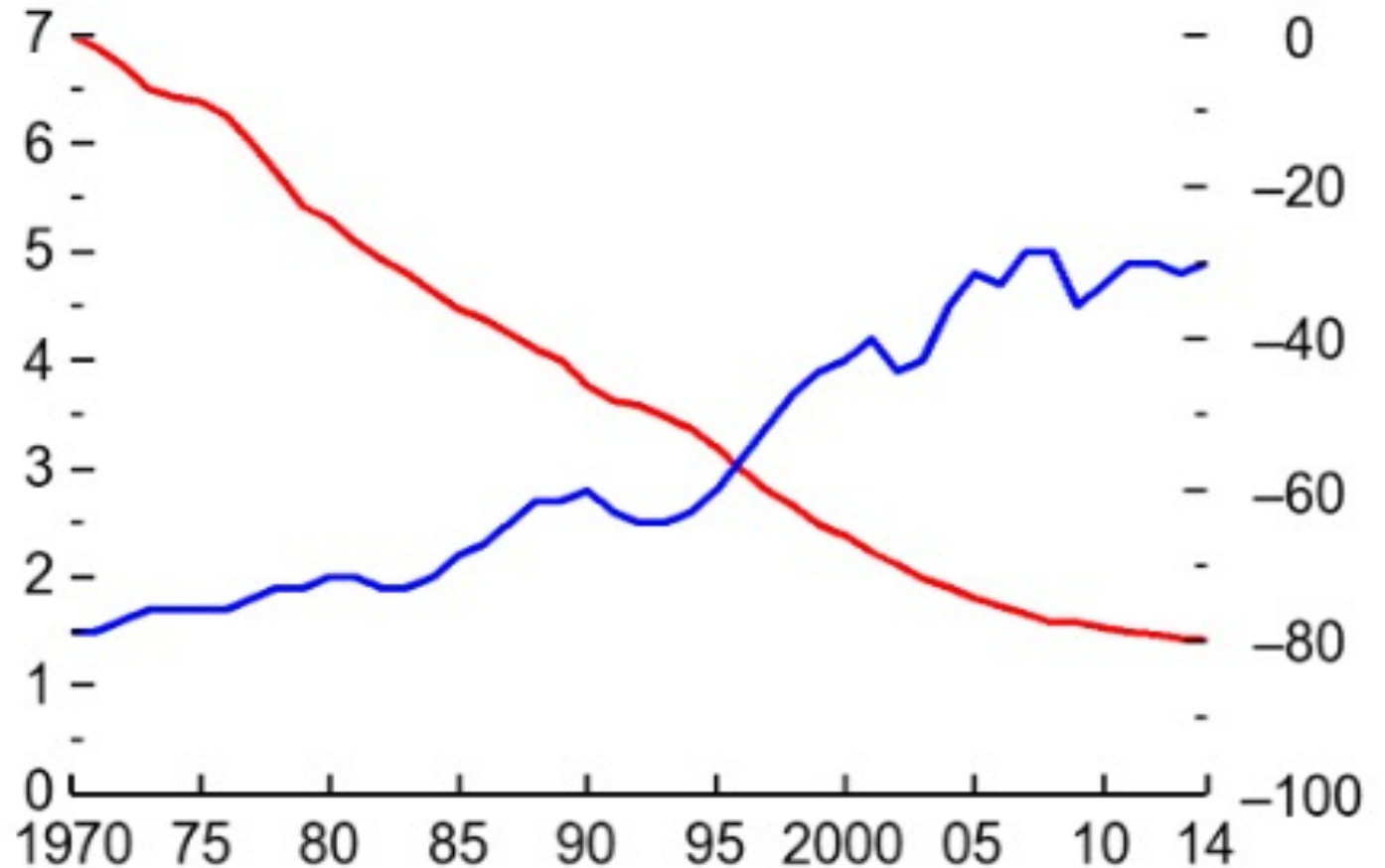
### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.1 Impact des TIC: investissement et automatisation

En **bleu**, la hausse des investissements (réels) en équipements et machines (% du PIB)

En **rouge**, le taux de baisse du prix relatif des équipements et machines par rapport à la consommation  
Pays avancés.

#### 1. Advanced Economies



## **Théorie (suite): Pourquoi les TIC n'ont pas relancé significativement la croissance agrégée?**

- Ce phénomène de décroissance du prix relatif du capital a fourni par la même occasion **une méthode de calcul direct du taux de progrès technique incorporé: le taux de décroissance de ce prix relatif !**
- De nouvelles données recueillies par Gordon (1990) sur le prix relatif des biens durables ont permis de "quantifier" : le progrès technique incorporé représente 60% de la croissance américaine d'après-guerre selon Greenwood, Herowitz et Krusel (1996).
- Mais la question demeure: quel est le rôle de la forte baisse du prix relatif du capital dans la « nouvelle économie » : énorme effet de substitution (pas d'effet à long terme) ou réelle croissance de la productivité à long terme ?



## Théorie (suite): Pourquoi les TIC n'ont pas relancé significativement la croissance agrégée ?

- Théoriquement, un choc permanent augmentant la composante incorporée du progrès technologique peut conduire à un **ralentissement permanent** de la croissance de productivité en raison des **coûts d'obsolescence** inhérents (voir Boucekkine, del Rio et Licandro, 2003).
- Ces coûts d'obsolescence ne sont compensés que si ce progrès technologique incorporé s'accompagne d'un solide **mécanisme de modernisation** se matérialisant par un **rajeunissement suffisamment intensif du stock de capital** (voir Boucekkine, del Rio et Licandro, 2005).
- Une issue positive serait aussi possible si ce progrès technique s'accompagne d'**une augmentation permanente de l'efficacité de la R&D** (Segerstrom, 2007, ou Boucekkine et de la Croix, 2003. Ce point est intéressant **pour l'analyse de l'IA** qu'on peut supposer par nature plus à même de booster la R&D.

## 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

### 3.1 Impact des TIC: investissement et automatisation



ELSEVIER

Journal of Development Economics 77 (2005) 153–171

JOURNAL OF  
Development  
ECONOMICS

[www.elsevier.com/locate/econbase](http://www.elsevier.com/locate/econbase)

# Obsolescence and modernization in the growth process

Raouf Boucekkine<sup>a,\*</sup>, Fernando del Río<sup>b</sup>, Omar Licandro<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*IRES and CORE, Université Catholique de Louvain, Place Montesquieu, 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium*

<sup>b</sup>*Universidade de Santiago de Compostela, Spain*

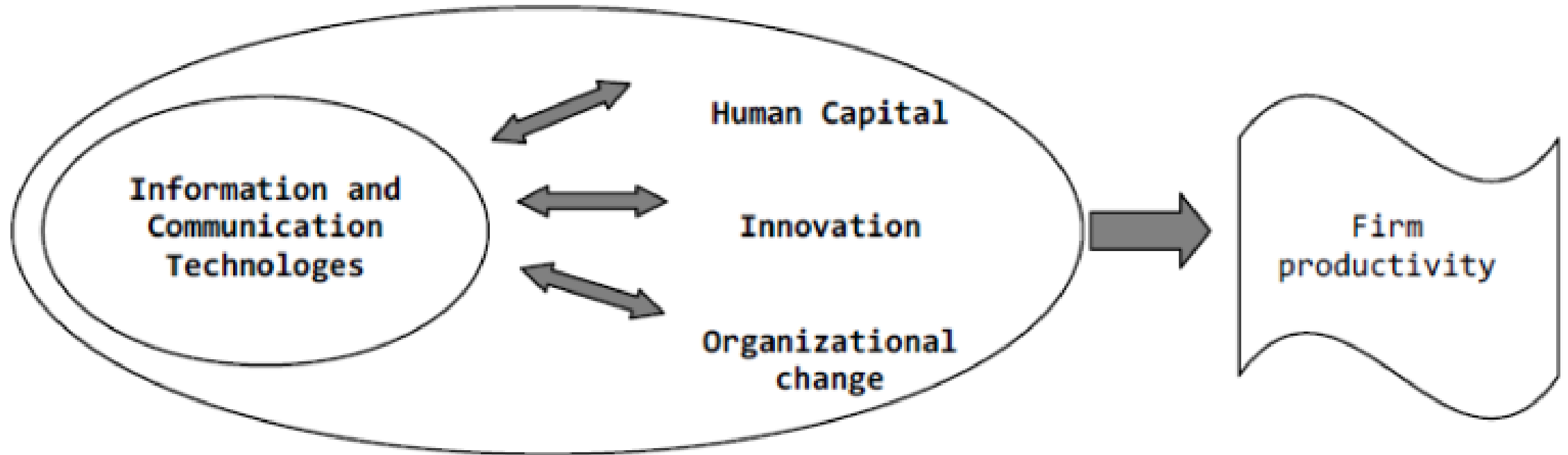
<sup>c</sup>*European University Institute, Italy, and FEDEA, Spain*

Received 1 May 2002; accepted 1 March 2004

## Evidence empirique

- Une raison plus empirique à l'inefficacité apparente des TICs à booster la croissance est **l'absence d'externalités du secteur TIC sur le reste de l'économie**, en particulier sur l'industrie manufacturière non directement liée aux technologies de l'information et de la communication.
- Gordon (1999) a observé que si les chiffres de la productivité dans les secteurs des TIC sont impressionnants, leur impact sur la croissance de la productivité totale des facteurs ne peut se faire sans effets externes sur les autres secteurs, **étant donné la taille du secteur TIC** (environ 12 % du PIB des États-Unis dans les années 90).
- Il constate en outre, en utilisant les comptes du NIPA, qu'après correction du cycle, **il n'y a pas d'accélération de la productivité totale des facteurs en dehors du secteur du hardware.**
- **Gordon (2000) a conclu que la soi-disant révolution des TIC n'est qu'une simple histoire de substitution de capital, car le prix relatif des biens durables s'est effondré depuis le milieu des années 70.** Position partagée par de nombreux chercheurs éminents comme Jorgenson.

## L'hypothèse de triple complémentarité





### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.1 Impact des TIC: investissement et automatisation

#### ***Skill bias des TIC, 1995-2001*** (Boucekkine-Crifo, 2008)

|                      | Travailleurs HS | HS en rapport avec les TIC travailleurs | Part des travailleurs du secteur des TIC à haut niveau de qualification dans l'ensemble des professions* |
|----------------------|-----------------|---|--|
| Grèce                | 1.29            | 3.19                                    | 0.56   |
| États-Unis           | 2.79            | 5.29                                    | 2.63   |
| France               | 1.67            | 7.11                                    | 2.05   |
| Italie               | 5.99            | 8.58                                    | 1.30   |
| Belgique             | 2.13            | 8.91                                    | 2.01   |
| Allemagne            | 1.66            | 9.41                                    | 1.90   |
| Danemark             | 3.08            | 9.49                                    | 2.58   |
| L'UE                 | 2.79            | 10.11                                   | 2.01   |
| Pays-Bas             | 4.14            | 10.31                                   | 3.54   |
| Suède (1997-2001)    | 3.47            | 12.29                                   | 3.85   |
| Royaume-Uni          | 1.37            | 12.63                                   | 2.60   |
| Luxembourg           | 4.06            | 14.28                                   | 2.22   |
| Espagne              | 7.46            | 15.92                                   | 1.38   |
| Finlande (1997-2001) | 5.22            | 16.89                                   | 2.34   |

### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.1 Impact des TIC: investissement et automatisation

**Conditions de travail induites par les TIC : changement organisationnel dans l'UE, 1990-2001**  
(Boucekkine-Crifo, 2008)

|  | 1990-91 | 1995-96 | 2000-01 |
|--|---------|---------|---------|
| Salariés déclarant travailler à très grande vitesse      | 46      | 54      | 56      |
| Les employés déclarent travailler dans des délais serrés | 50      | 56      | 60      |
| Autonomie du travailleur - ordre des tâches              |         | 64      | 64      |
| Autonomie du travailleur - rythme de travail             | 64      | 71      | 70      |
| Autonomie des travailleurs - méthodes de travail         | 60      | 71      | 70      |

#### ICT, skills, and organizational change: evidence from Italian manufacturing firms Get access

''

*Industrial and Corporate Change*, Volume 17, Issue 1, February 2008,  
Pages 29–64, <https://doi.org/10.1093/icc/dtm038>

**Published:** 03 January 2008

#### Abstract

This article examines the complementarity among information and communication technologies (ICT), skills, and organizational change from a panel of 680 Italian manufacturing firms during 1995–2003. By drawing on

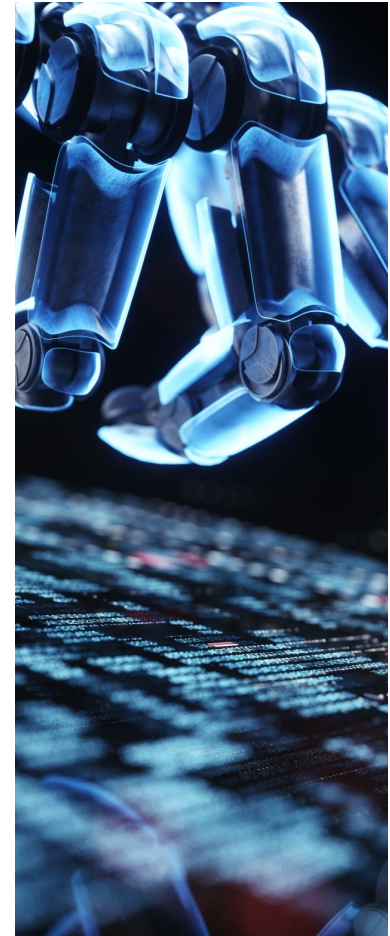
### Tous les pays ne vérifient pas l'hypothèse de triple complémentarité!

Des travaux importants sur données d'entreprises ont vérifié cette hypothèse dans certains pays comme USA, UK et France. Giuri, Torrisi and Zinovyeva (2008) ont cependant montré qu'elle **ne "marche" pas sur l'Italie**, aussi sur des données d'entreprises manufacturières sur 1995-2003. Ils montrent bien la complémentarité entre changement organisationnel (CO) et capital humain, mais ne trouvent aucune preuve d'une telle complémentarité entre investissement en ICT et CO, ou entre capital humain et investissement en ICT.

## L'impact de l'automatisation sur l'emploi

### Trois mécanismes principaux

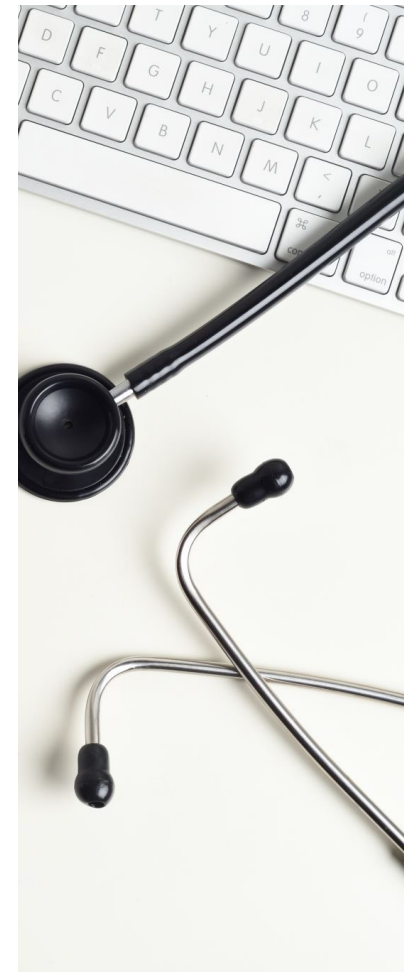
- **Effet de substitution** : les machines/robots remplacent simplement le travail humain.
- La seconde est la **skill-complémentarité**: comme pour toute nouvelle technologie, des emplois ou des tâches (selon Acemoglu et Restrepo, 2017, 18) sont créés pour répondre aux besoins en main-d'œuvre humaine complémentaires à la technologie entrante. En effet, un emploi n'est pas nécessairement détruit si une ou deux des tâches associées sont rendues obsolètes par les nouvelles technologies (automatisation). Même lorsque des tâches peuvent être automatisées, elles ne disparaissent pas nécessairement : les pilotes automatiques n'ont pas entraîné l'extinction de cette profession, bien qu'ils aient modifié le rôle des pilotes d'avion.
- Le troisième est l'**effet induit par la demande**, c'est l'effet de productivité : les gains de productivité, même dans quelques secteurs pertinents, augmenteraient les revenus dans l'économie et façonneraient d'une manière ou d'une autre la demande de (nouveaux) biens et services.



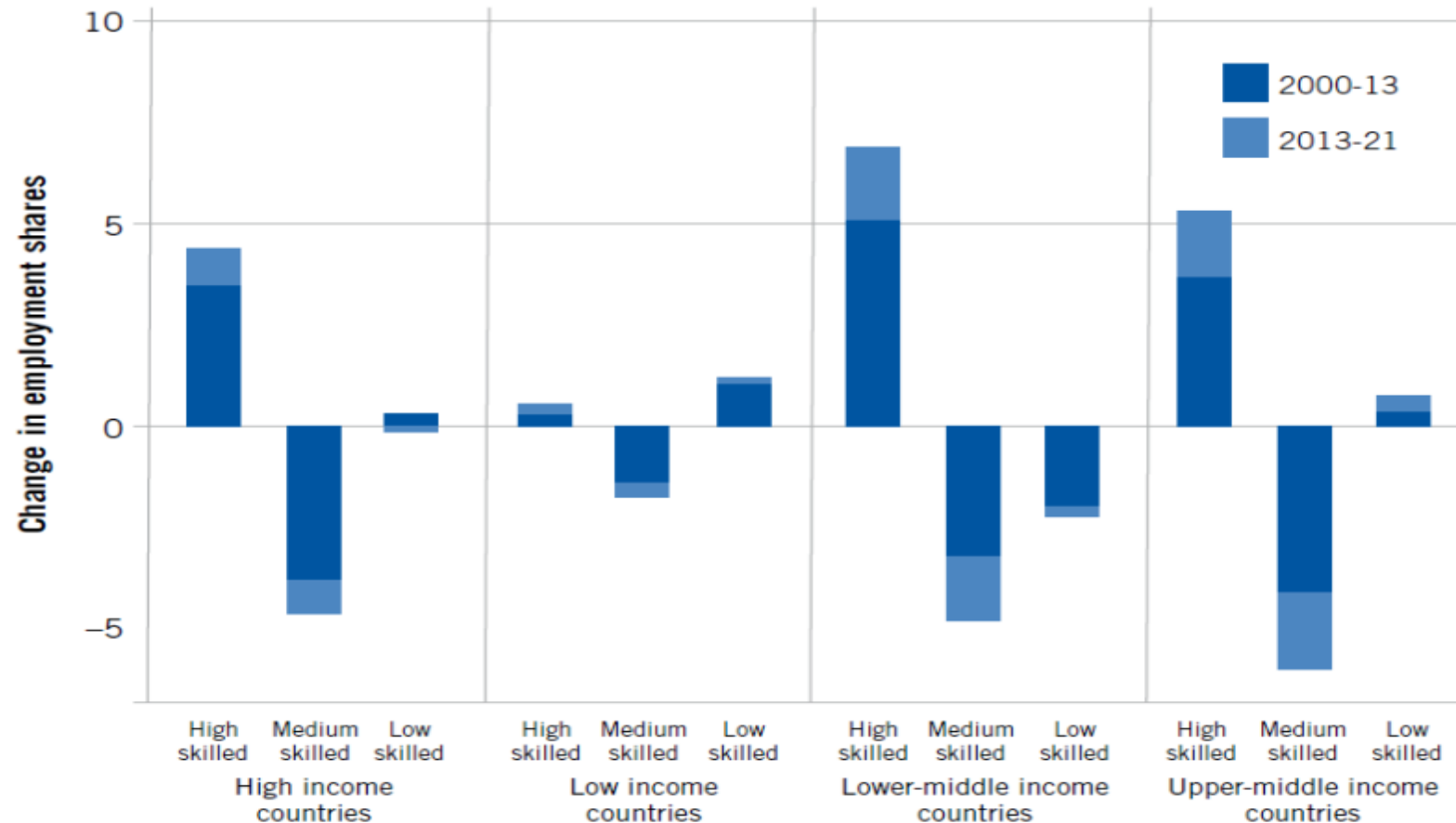


## Evidence empirique

- In fine, les entreprises doivent choisir les profils d'emploi les plus rentables compte tenu de l'évolution de la demande de biens et de services, mais aussi de leur environnement institutionnel (notamment les incitations fiscales, l'offre de compétences, les infrastructures de formation...).
- Dans l'ensemble, **il n'est donc pas surprenant que l'effet global (net) de l'automatisation sur l'emploi soit jugé plutôt faible dans la grande majorité des études empiriques connexes de l'OCDE, voire positif (comme dans Acemoglu et Restrepo, 2017).**
- L'impact sur les pays en développement risque malheureusement d'être beaucoup plus négatif, comme le montre une étude récente et perspicace de l'OIT (Barcia de Mattos et al., 2020). **L'aspect clé de cette vision pessimiste est la perspective d'une "délocalisation" dans laquelle la production, en particulier celle des produits manufacturés à forte intensité de main-d'œuvre, se déplace des pays en développement vers les pays développés.** Il s'agit bien entendu d'une menace potentiellement existentielle pour de nombreuses économies nationales comme celle de l'Inde.



## La polarisation de l'emploi induite par l'automatisation (Ernst et al, 2018, OIT)



Note: Change in employment shares, in percentage points; forecasts after 2016.  
Source: ILO, Trends Econometric Models, Nov. 2016.

## Derrière la polarisation

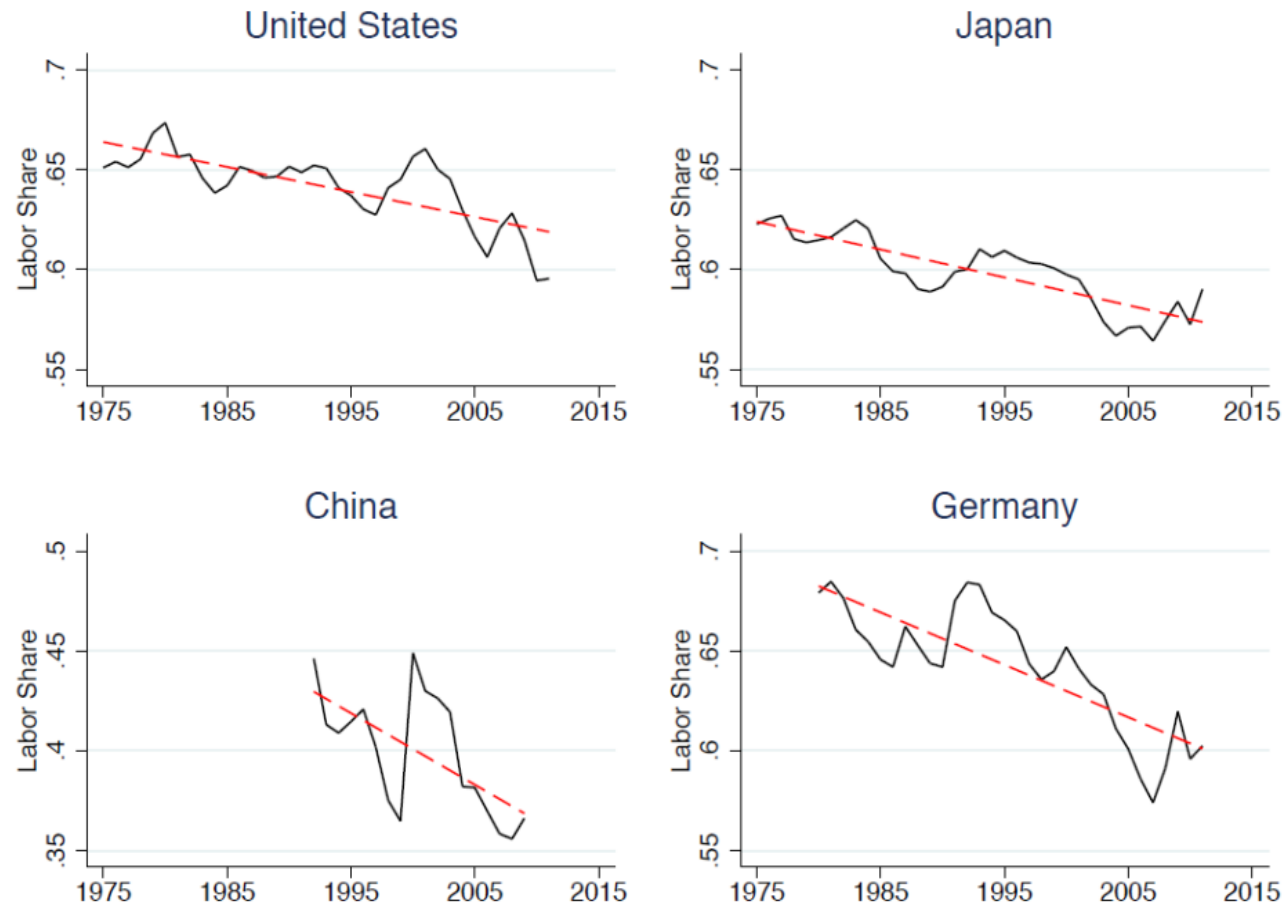
- Bien entendu, les premiers pénalisés par la polarisation ne sont pas les personnes peu qualifiées mais les personnes moyennement qualifiées.
- Les travailleurs peu qualifiés ont été favorisés par l'interaction complexe de divers facteurs d'offre et de demande (Autor et Dorn, 2013). Après une longue période de stagnation, la part des heures travaillées dans les services par les travailleurs non diplômés a en effet augmenté de plus de 50 % entre 1980 et 2005.
- Étant donné que de nombreuses tâches et emplois de routine ont été automatisés avec l'essor des TIC, les travailleurs peu qualifiés se sont généralement tournés vers des professions de services difficiles à automatiser.
- En termes de rémunération, si les travailleurs hautement qualifiés peuvent évidemment bénéficier d'une prime salariale substantielle en raison de leur complémentarité avec le capital informatique dans les tâches non routinières, les travailleurs peu qualifiés des services ont également bénéficié de revenus nettement supérieurs à ceux d'autres professions peu qualifiées.
- Les travailleurs peu qualifiés ont réorienté leur offre de travail vers les professions de service, qui sont difficiles à automatiser parce qu'elles reposent fortement sur la dextérité, la communication interpersonnelle flexible et la proximité physique directe", Autor et Dorn, page 1590.

### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.2 Impact de l'automatisation sur l'emploi et les inégalités

## Le déclin de la part du travail : 1975-2003

(Karabarbounis et Neiman, 2014)



## Des questions brûlantes pour longtemps encore

- Pour comprendre cette tendance de la part de la main-d'œuvre, il faut examiner le complément, la part des bénéfices.
- Dans le cas des États-Unis, les transformations induites par les TIC se sont également accompagnées d'une forte augmentation de l'inégalité des revenus supérieurs (revenus des entrepreneurs ou des entreprises) (Jones et Kim, 2018) depuis les années 80, contrairement à la France ou au Japon.
- Il va sans dire que les dirigeants des entreprises superstars (Autor et al., 2020) ont été les premiers gagnants de la dynamique de distribution la plus récente aux États-Unis.
- Néanmoins, les entreprises américaines superstars de l'économie numérique sont également mondiales et réalisent des bénéfices partout dans le monde. S'agit-il d'une juste récompense pour une plus grande créativité dans un monde globalisé ? Ou une politique de redistribution corrective doit-elle être appliquée et à quelle échelle ?



### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.2 Impact de l'automatisation sur l'emploi et les inégalités

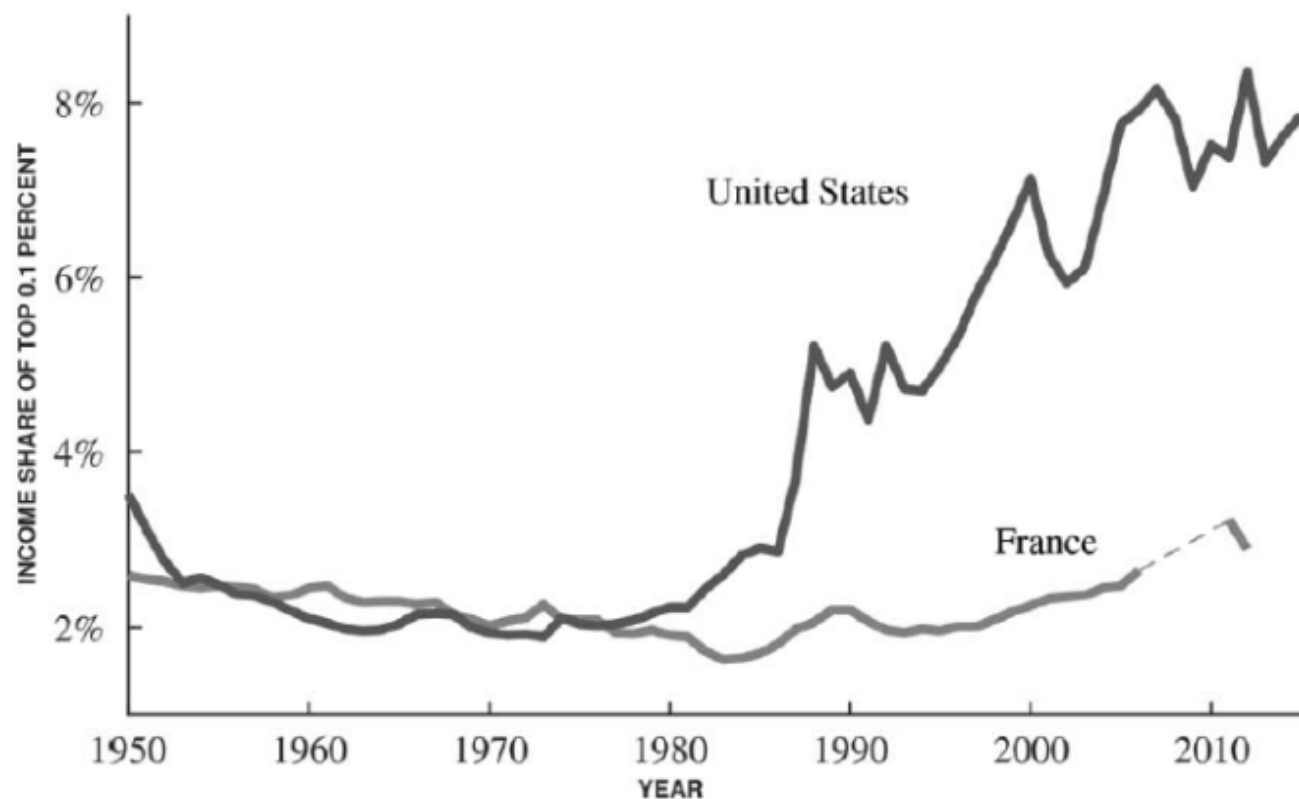
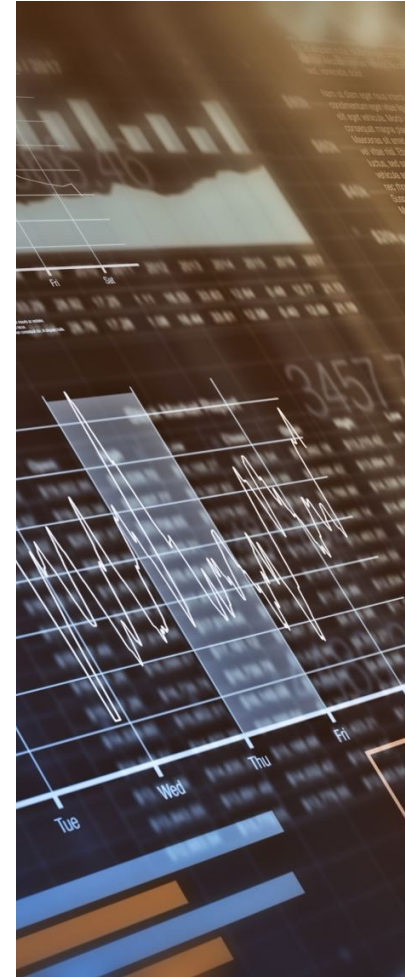


FIG. 1.—Top income inequality in the United States and France. Source: World Wealth and Income Database (<http://www.wid.world/>). Includes interest and dividends but not capital gains. Color version available as an online enhancement.

## Pourquoi tant de concentration dans les industries TIC ?

- La **baisse des coûts d'investissement** dans les technologies numériques a considérablement abaissé les barrières à l'entrée pour les start-ups, rendant moins nécessaire que par le passé la mobilisation d'énormes quantités de capital avant de se lancer dans une nouvelle entreprise, tout en offrant des avantages substantiels aux premiers entrants (Ernst et al., 2018).
- Du fait donc de la chute rapide du prix du hardware notamment, la concentration industrielle n'a pas augmenté plus vite dans les secteurs à forte intensité informatique que dans les autres secteurs entre 1987 et 2006 (Brynjolfsson et al. 2008).
- Cependant, **après 1995**, la nature des investissements informatiques (non-résidentiels) a changé en évoluant rapidement de TIC généralement disponibles vers des technologies en propriété (**proprietary IT**), en particulier **logiciels personnalisés**. Et ce sont les plus grandes firmes qui dominent ce marché en investissements et en chiffres d'affaire (coûts fixes endogènes et monopoles naturels). Voir Bessen (2020).



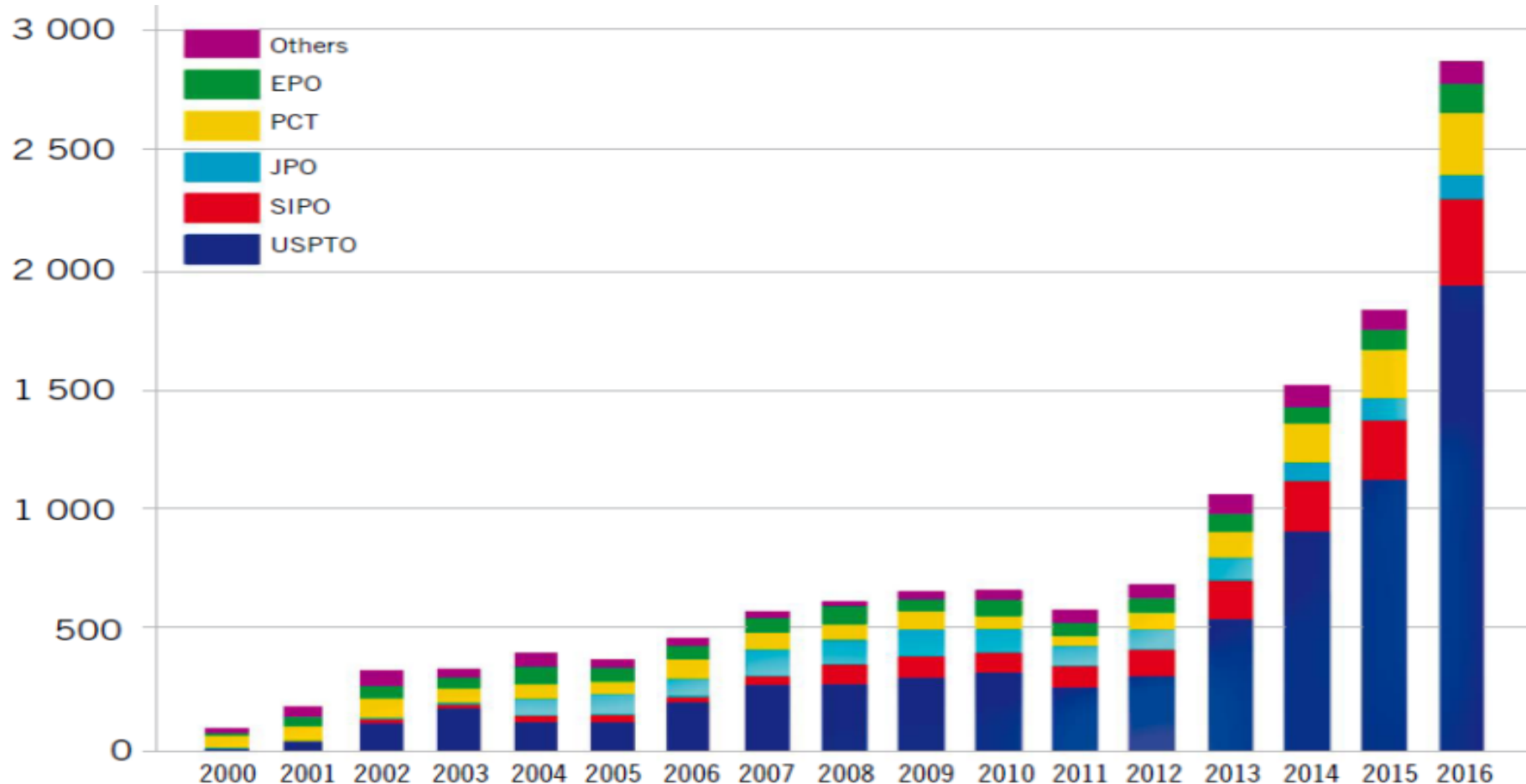
## Impact prospectif de l'IA

- **Le message clé à retenir de la littérature économique croissante sur l'IA est qu'il serait erroné de tirer des conclusions hâtives sur l'impact de l'IA à partir de travaux antérieurs sur l'automatisation** (Agarwal et al., 2019, Acemoglu et Restrepo, 2019, Ernst et al., 2018, ou Growiec, 2022).
- Bien sûr, Gordon (2016) a raison lorsqu'il affirme que l'IA est une étape supplémentaire vers l'automatisation, mais il s'agit d'une étape *radicale*: les ordinateurs/machines apprennent à partir des données, et plus les données sont importantes, plus ils peuvent apprendre, et plus les algorithmes fournis deviendront *intelligents*. Cela est déjà visible dans les tâches purement "cognitives" déjà accomplies avec succès à un taux élevé par l'IA. **Et la dynamique de la R&D en IA!**
- Ainsi, **en raison du fonctionnement et des résultats spécifiques de l'IA et des progrès technologiques en cours dans le secteur du hardware et des logiciels, l'IA est susceptible d'avoir un impact plus important au niveau agrégé.**

### 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

#### 3.3 IA n'est pas seulement automatisation : impacts spécifiques des IA

### Brevets d'IA par pays



Note: USPTO: United States Patent and Trademark Office; SIPO: State Intellectual Property Office of The People's Republic of China; JPO: Japan Patent Office; PCT: Patent Cooperation Treaty; EPO: European Patent Office.

Source: Fujii and Managi, 2018.

## Risque de bulle comme en 2001?

ÉCONOMIE · INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

### Souvent déficitaires, les start-up de l'IA sont sous pression

Les fabricants de modèles et d'outils d'intelligence artificielle font face aux doutes sur l'existence d'une « bulle » dans le secteur, ainsi qu'à la concurrence des géants du numérique.

Par Alexandre Piquard

Publié le 18 septembre 2024 à 15h00 ·  Lecture 4 min. · [Read in English](#)

ÉCONOMIE · LES ENTRETIENS DE L'IA

« L'intelligence artificielle est une bulle : il y a un décalage entre les coûts, très importants, et les revenus potentiels »

« Les entretiens de l'IA ». L'essayiste, activiste et auteur Cory Doctorow observe que « beaucoup d'investissements affluent chez les fabricants de modèles d'IA qui, souvent, perdent de l'argent ».

Propos recueillis par Alexandre Piquard

Publié le 31 août 2024 à 04h30, modifié le 31 août 2024 à 13h58 ·  Lecture 7 min.



## Impact de l'IA sur l'emploi :

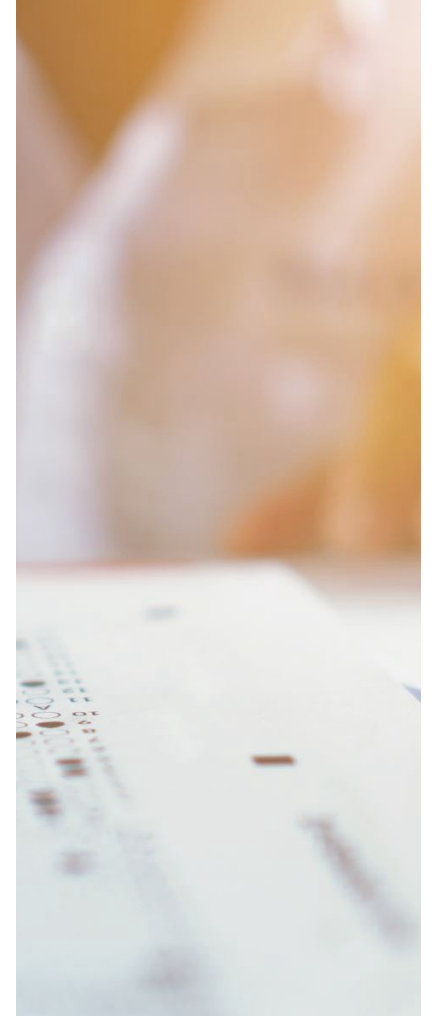
### Focus sur les emplois comportant des tâches de prédiction

(Agrawal et al, 2019)

**Effet de substitution:** Très fort... et **potentiellement désastreux** !

*D'autres tâches qui n'étaient pas considérées historiquement comme des tâches de prédiction se transforment en tâches orientées vers la prédiction à mesure que l'apprentissage automatique s'améliore et que le coût de la prédiction ajusté à la qualité diminue", Agrawal et al, p. 32.*

*Exemple : Ainsi, le recrutement (ou la promotion dans le monde universitaire) dans les départements des ressources humaines qui s'appuient de plus en plus sur l'IA prédictive, sans compter d'autres activités bien moins "vertueuses".*



## Impact de l'IA sur l'emploi (suite) :

### Focus sur les emplois comportant des tâches de prédiction

- **Complémentarité capital/skills (ou compétences)** : Dans les cas où l'IA prédictive devient relativement plus efficace que la main-d'œuvre dans une tâche décisionnelle complémentaire, cette dernière peut également être automatisée.
- C'est typiquement le cas du contrôle des véhicules, car le temps de réaction des machines est généralement inférieur à celui des humains : les commandes de contrôle des véhicules (ou au moins une partie d'entre elles) finissent par être automatisées lorsque la tâche prédictive (par exemple, la prédiction des accidents) devient suffisamment efficace.



## Impact de l'IA sur l'emploi (suite) :

### Focus sur les emplois comportant des tâches de prédiction

- **Croissance de la productivité du travail induite par l'IA et réintégration** : Les deux dernières voies sont plus favorables au travail humain. L'une d'entre elles consiste à augmenter la productivité du travail grâce à l'IA prédictive. C'est typiquement le cas dans les applications médicales de l'IA, où l'IA prédictive peut conduire à une réduction drastique des erreurs médicales (sans les remplacer).
- Le second est plus conforme à l'**effet de réintégration (reinstatement)** décrit par Acemoglu et Restrepo (2018, 2019) : il fonctionne par la libération de la main-d'œuvre, l'automatisation augmentant les rendements des technologies qui utilisent la main-d'œuvre pour de nouvelles tâches. Il est davantage lié à l'incertitude dans Agrawal et al. : l'IA prédictive réduit suffisamment l'incertitude pour permettre la création de nouvelles tâches (de décision).

## 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

### 3.3 IA n'est pas seulement automatisation : impacts spécifiques des IA

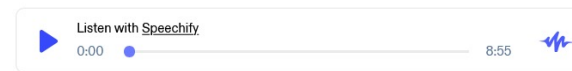


ENGLISH ▾

6 MIN READ

DOWNLOAD PDF 

**The drive toward automation is perilous—  
to support shared prosperity, AI must  
complement workers, not replace them**

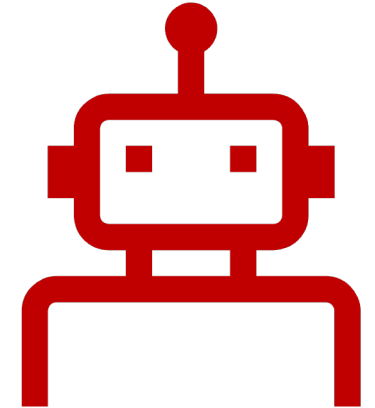


Optimistic forecasts regarding the growth implications of AI abound. AI adoption could boost productivity growth by 1.5 percentage points per year over a 10-year period and raise

## L'IA au service de la croissance de la productivité dans le LT ?

### La " loi des rendements accélérés " (LAR)

- Dans un cadre de croissance standard basé sur la R&D, avec l'IA comme moteur contribuant à produire de nouvelles "idées", la croissance prospective est potentiellement illimitée. Cela fait écho à la *théorie de la singularité* développée par Kurzweil (2005) et à sa *loi d'accélération des rendements* qui donne la clé du développement technologique (infini) aux machines et à l'IA.
- Les tâches de recherche qui ont bénéficié de l'automatisation et de l'évolution technologique comprennent l'obtention de matériel et de données de recherche, l'analyse de données, la résolution de problèmes mathématiques et le calcul de résultats d'équilibre. Au-delà de l'économie, d'autres exemples incluent la réalisation d'expériences, le séquençage de génomes, l'exploration de diverses réactions chimiques et de matériaux...etc...

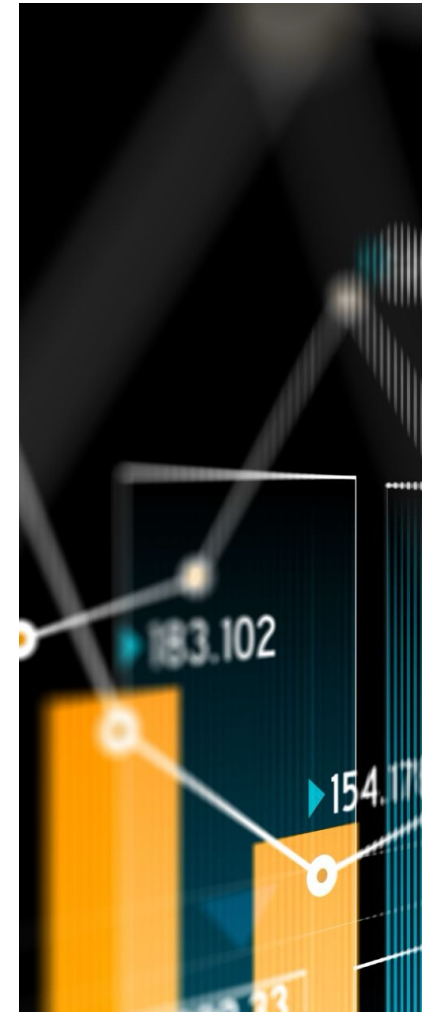




## L'IA au service de la croissance de la productivité dans le LT ?

### LAR (suite)

- Dans un cadre de croissance standard basé sur la R&D, avec l'IA comme moteur contribuant à produire de nouvelles "idées" (Aghion et al., 2019), deux types de croissance singulière peuvent se produire selon que la croissance infinie se produit en temps fini (singularité mathématique) ou en temps infini.
- Dans Acemoglu et Restrepo (2018), la singularité ne doit pas être surestimée. Alors que l'automatisation est en cours, de nouvelles tâches dans lesquelles le travail humain a un avantage comparatif peuvent être créées. L'accumulation de capital et le compromis automatisation/nouvelles tâches étant endogénéisés, ils montrent qu'à moins que le taux de location à long terme du capital par rapport au salaire ne soit suffisamment faible, il existe un sentier de croissance stable et équilibré dans lequel de nouvelles tâches sont créées en permanence (automatisation partielle). La stabilité de la croissance à long terme résulte du fait que l'automatisation réduit le coût de production du travail, ce qui empêche toute automatisation supplémentaire et encourage la création de nouvelles tâches.



## 3. TIC vs IA : Impacts socio-économiques

### 3.3 IA n'est pas seulement automatisation : impacts spécifiques des IA

*American Economic Review* 2018, 108(6): 1488–1542  
<https://doi.org/10.1257/aer.20160696>

#### The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment

By DARON ACEMOGLU AND PASCUAL RESTREPO\*

*We examine the concerns that new technologies will render labor redundant in a framework in which tasks previously performed by labor can be automated and new versions of existing tasks, in which labor has a comparative advantage, can be created. In a static version where capital is fixed and technology is exogenous, automation reduces employment and the labor share, and may even reduce wages, while the creation of new tasks has the opposite effects. Our full model endogenizes capital accumulation and the direction of research toward automation and the creation of new tasks. If the long-run rental rate of capital relative to the wage is sufficiently low, the long-run equilibrium involves automation of all tasks. Otherwise, there exists a stable balanced growth path in which the two types of innovations go hand-in-hand. Stability is a consequence of the fact that automation reduces the cost of producing using labor, and thus discourages further automation and encourages the creation of new tasks. In an extension with heterogeneous skills, we show that inequality increases during transitions driven both by faster automation and the introduction of new tasks, and characterize the conditions under which inequality stabilizes in the long run.*

## L'IA stimule-t-elle la productivité dans la LT ?

### Stagnation séculaire et « grande traversée »

- Gordon (2012) a calculé qu'en raison de l'évolution attendue des "six vents contraires" de l'économie américaine (démographie, éducation, inégalité, mondialisation, énergie/environnement et surendettement privé et public), la croissance future de la consommation par habitant pour les 99 % inférieurs de la distribution des revenus peut tomber en dessous de 0,5 % par an "pendant une *période prolongée de plusieurs décennies*".
- Mais **la stagnation séculaire** n'est pas nécessairement à venir. Comme le souligne Jones (2002) en citant la représentation de la *grande traversée* de David de 1997 du régime de croissance du 19<sup>ème</sup> siècle, les périodes d'investissement massif et d'augmentation du ratio capital/production ne se terminent pas nécessairement par une stagnation séculaire. **Mais pour que cette grande traversée se termine bien, il faut qu'un autre facteur prenne le relais de l'accumulation du capital.**
- Pour Jones (2002), l'augmentation de l'intensité de la recherche est l'un de ces facteurs. Cet argument est tout à fait cohérent avec les principales conclusions des travaux contemporains sur la théorie de la croissance mentionnés ci-dessus (Segerstrom, 2007, et Boucekkine et de la Croix, 2003) qui déduisent, à l'aide de modèles stylisés matériel/logiciel, que les révolutions de type TIC ne peuvent conduire qu'à des booms d'investissement transitoires à moins que l'efficacité du secteur de la R&D ne soit affectée de manière permanente.
- **L'IA est-elle le conducteur gagnant de la "grande traversée" ?**

## **4. Questions ouvertes et défis soulevés par les IAs**

### Défis scientifiques : **Interprétabilité, explicabilité et généralisation**

- Déjà commenté ci-dessus à propos d'une application concrète en économie financière. Bien entendu, l'argument s'applique à tous les domaines d'application de l'IA/DL.
- Il s'agit de tâches difficiles sur lesquelles les mathématiciens de l'IA travaillent d'arrache-pied (par exemple Joshua Bengio, prix Turing).



## La généralisation : un domaine mathématique très actif

### Generalization in Deep Learning

Kenji Kawaguchi

Massachusetts Institute of Technology

Leslie Pack Kaelbling

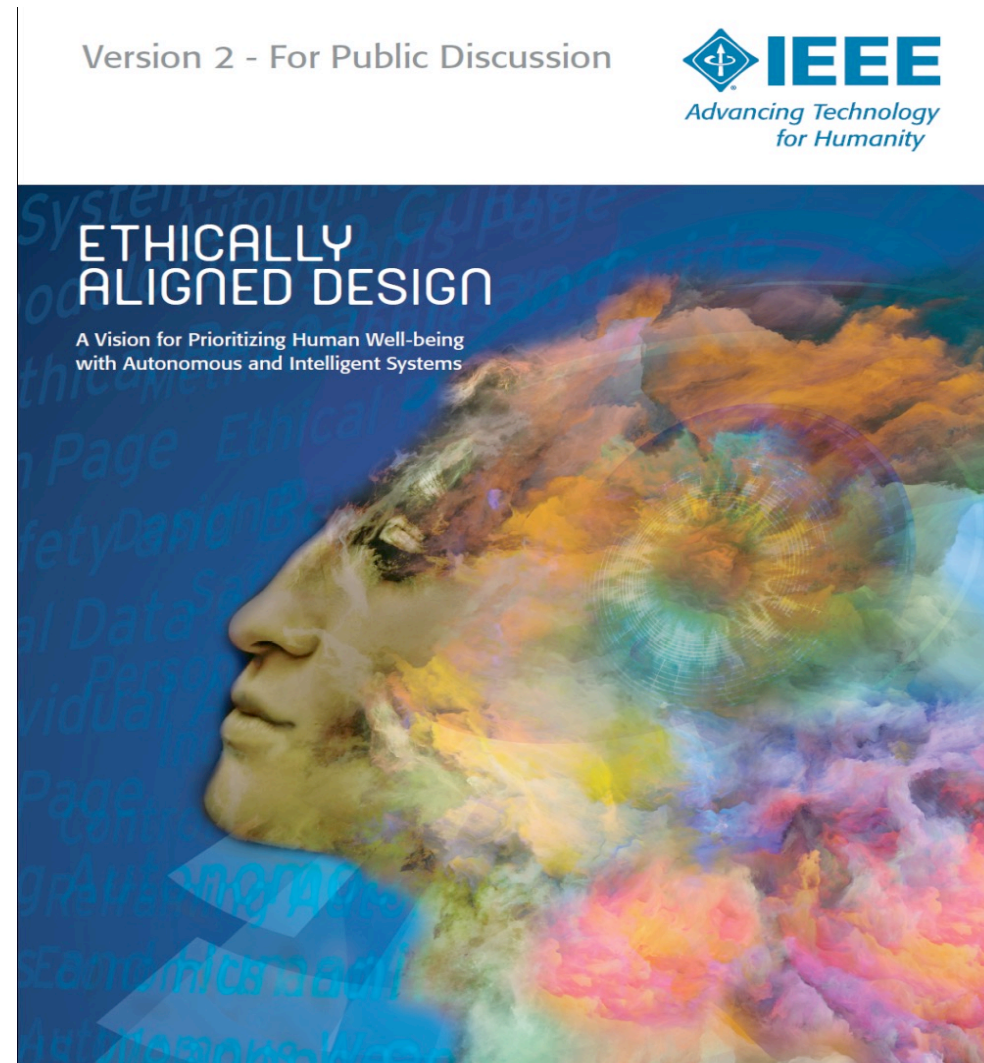
Yoshua Bengio

University of Montreal, CIFAR Fellow

#### Abstract

This paper provides theoretical insights into why and how deep learning can generalize well, despite its large capacity, complexity, possible algorithmic instability, nonrobustness, and sharp minima, responding to an open question in the literature. We also discuss approaches to provide non-vacuous generalization guarantees for deep learning. Based on theoretical observations, we propose new open problems and discuss the limitations of our results.

## Préoccupations éthiques pouvant conduire à la régulation des IAs

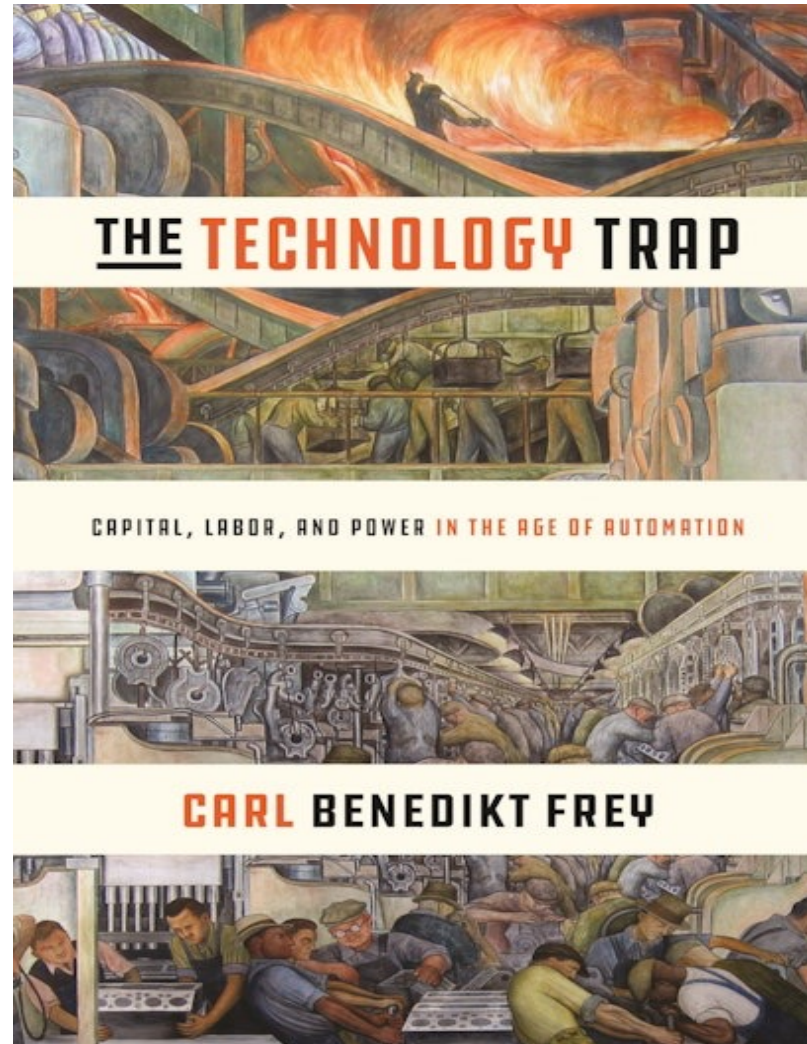


### Éthique et réglementation de l'IA

- L'automatisation et l'IA soulèvent un ensemble de questions éthiques cruciales qui ont donné lieu à une **abondante littérature relative à la vie privée et à la surveillance, à la manipulation, à la discrimination et aux préjugés dans la prise de décision, entre autres**. Voir par exemple Frey, 2019, ou Jasanoff, 2016.
- Plusieurs philosophes et scientifiques éminents se sont davantage concentrés sur les risques existentiels véhiculés par la singularité (en particulier, Bostrom, 2014, et Rees, 2018). Outre les arguments et concepts typiques dans le domaine de **l'éthique du risque**, un point spécifique abordé concerne la **contrôlabilité des machines super intelligentes**, car l'intelligence ou la rationalité ne doit pas nécessairement conduire à la bienveillance (contrairement à la pensée très kantienne).
- Comme l'affirme Growiec (2022), les problèmes pourraient s'aggraver au fil du temps, car l'automatisation, parallèlement au développement rapide de l'IA, pourrait toucher une main-d'œuvre plus qualifiée et à des tâches plus complexes. **Le mécontentement de la classe moyenne qui s'ensuivra pourrait favoriser le populisme et des changements politiques massifs** (Frey, 2019).



## 4. Questions ouvertes soulevées par l'IA



### Éthique et réglementation de l'IA (suite)

- Bien qu'il **ne semble pas souhaitable de limiter la liberté académique**, en particulier, comme le montre le cas de l'IEEE, parce que les scientifiques sont bien conscients des questions éthiques, **il est important que les régulateurs adoptent des politiques qui limitent les impacts négatifs de l'IA.**
- Les exemples de telles distorsions sont l'inégalité des revenus et la polarisation de l'emploi (en laissant de côté la protection de la vie privée et d'autres problèmes microéconomiques importants), la compensation des perdants de l'IA ou l'assistance à ces derniers. Dans le premier cas, un débat fait rage sur la taxation des GAFAs, tant dans l'UE qu'aux États-Unis. Il semble douteux qu'une politique antitrust efficace puisse être mise en place en l'absence de coordination entre les États-Unis et l'UE dans l'approche même de la politique de concurrence (voir Ciriani et Lebourges, 2018).
- Des **politiques éducatives spécifiques** sont proposées pour faire face à la plus grande mobilité professionnelle induite (parmi elles, la formation tout au long de la vie, voir Agrawal et al., 2019) ainsi que des réformes des systèmes de protection sociale.



# 4. Questions ouvertes soulevées par l'IA

'8/24, 12:54 PM

'Godfather of AI' Geoffrey Hinton quits Google and warns over dangers of misinformation | Google | The Guardian



Google

🕒 This article is more than **10 months old**

## 'Godfather of AI' Geoffrey Hinton quits Google and warns over dangers of misinformation

**The neural network pioneer says dangers of chatbots were 'quite scary' and warns they could be exploited by 'bad actors'**

### **L'IA dans la transition écologique : une littérature en plein essor**

- Une grande partie des progrès récents de l'IA a nécessité des quantités toujours plus importantes de données et de puissance de calcul. Tout cela a un coût : si l'informatique en *cloud* représente actuellement environ 0,5 % de la consommation mondiale d'énergie, ce pourcentage devrait dépasser les 2 % dans les années à venir (Luccioni et al. 2020).
- L'empreinte carbone de la formation d'un seul grand modèle linguistique équivaut à environ 300 000 kg d'émissions de dioxyde de carbone. Ce chiffre est de l'ordre de 125 vols aller-retour entre New York et Pékin (Dhar, 2021).
- Mais IA peut aussi jouer un rôle plus positif dans ce domaine: elle peut contribuer à réduire les effets de la crise climatique, par exemple dans la conception de réseaux intelligents, le développement d'infrastructures à faibles émissions et la modélisation des prévisions de changement climatique.

# Energy-recycling Blockchain with Proof-of-Deep-Learning

Changhao Chen<sup>li\*</sup>, Boyang Li<sup>\*</sup>, Yiyu Shi, Taeho Jung  
*Department of Computer Science and Engineering*  
*University of Notre Dame*  
Notre Dame, Indiana, USA  
{cchenli, Boyang.Li.258, yshi4, tjung}@nd.edu

**Abstract**—An enormous amount of energy is wasted in Proof-of-Work (PoW) mechanisms adopted by popular blockchain applications (e.g., PoW-based cryptocurrencies) because miners must conduct a large amount of computation. Owing to this, one serious rising concern is that the energy waste not only dilutes the value of the blockchain but also hinders its further application. In this paper, we propose a novel blockchain design that fully recycles the energy required for facilitating and maintaining it, which is re-invested to the computation of deep learning. We realize this by proposing Proof-of-Deep-Learning (PoDL) such that a valid proof for a new block can be generated if and only if a proper deep learning model is produced. We

however it does not completely solve the problem because storage resources are wasted instead.

Primecoin [5] uses prime number finding instead of hash calculation as PoW, and miners seek special sequences of prime numbers (Cunningham chains). However, the application of those numbers is limited in cryptographic protocols. Gridcoin [6], Golem [7], and FoldingCoin [8] are cryptocurrencies that distribute rewards to miners based on the amount of scientific computation they performed. Though being similar, the Proof-of-Deep-Learning (PoDL) proposed in

## **5. À emporter**



### **La première vague d'automatisation induite par les TIC n'a pas eu l'impact escompté/crainte...**

- Une grande partie de la littérature économique a en effet soutenu que si l'automatisation (en particulier celle apportée par l'explosion des TIC dans les années 90) a été considérée comme une source d'inconvénients majeurs sur le lieu de travail, les chiffres globaux observés dans de nombreux pays développés et non développés sont loin d'être négatifs en moyenne.
- Dans le même temps, les gains de productivité ont été plutôt limités malgré les chiffres de croissance énormes dans le secteur du hardware notamment, et une dynamique "industrielle" impressionnante (créations de start-up) dans la phase initiale de ce que l'on appelle la nouvelle économie.





### Cependant, l'IA pourrait avoir des conséquences beaucoup plus profondes sur l'économie que les précédentes vagues d'automatisation...

- L'IA n'est pas une simple automatisation : elle permet déjà d'accomplir des tâches qui sont considérées comme nécessitant des capacités humaines spécifiques liées, par exemple, à la perception visuelle, à la parole, à la reconnaissance des sentiments et à la prise de décision.
- Elle repose sur une dynamique technologique vertueuse qui réduit le coût du stockage des données et augmente la puissance de calcul de manière apparemment durable, ce qui favorise une innovation très forte (clairement visible dans la dynamique des brevets d'IA dans le monde) avec un nouveau type d'entreprises et d'acteurs.
- **En bref, l'IA est appelée à exécuter des tâches cognitives de plus en plus complexes, ce qui pose autant de questions qu'il n'ouvre de perspectives prometteuses. IA semble bien être le capitaine de la nouvelle “grande traversée”**

### Quatre défis restent en suspens

Défis scientifiques  
(généralisation,  
interprétabilité,...)

Préoccupations  
économiques (emploi,  
concentration,...)

Préoccupations éthiques  
(vie privé, désinformation,  
singularité...)

Préoccupations  
écologiques  
(consommation d'énergie,  
émissions de carbone,...)

**Merci de votre attention !**  
**Des questions ?**