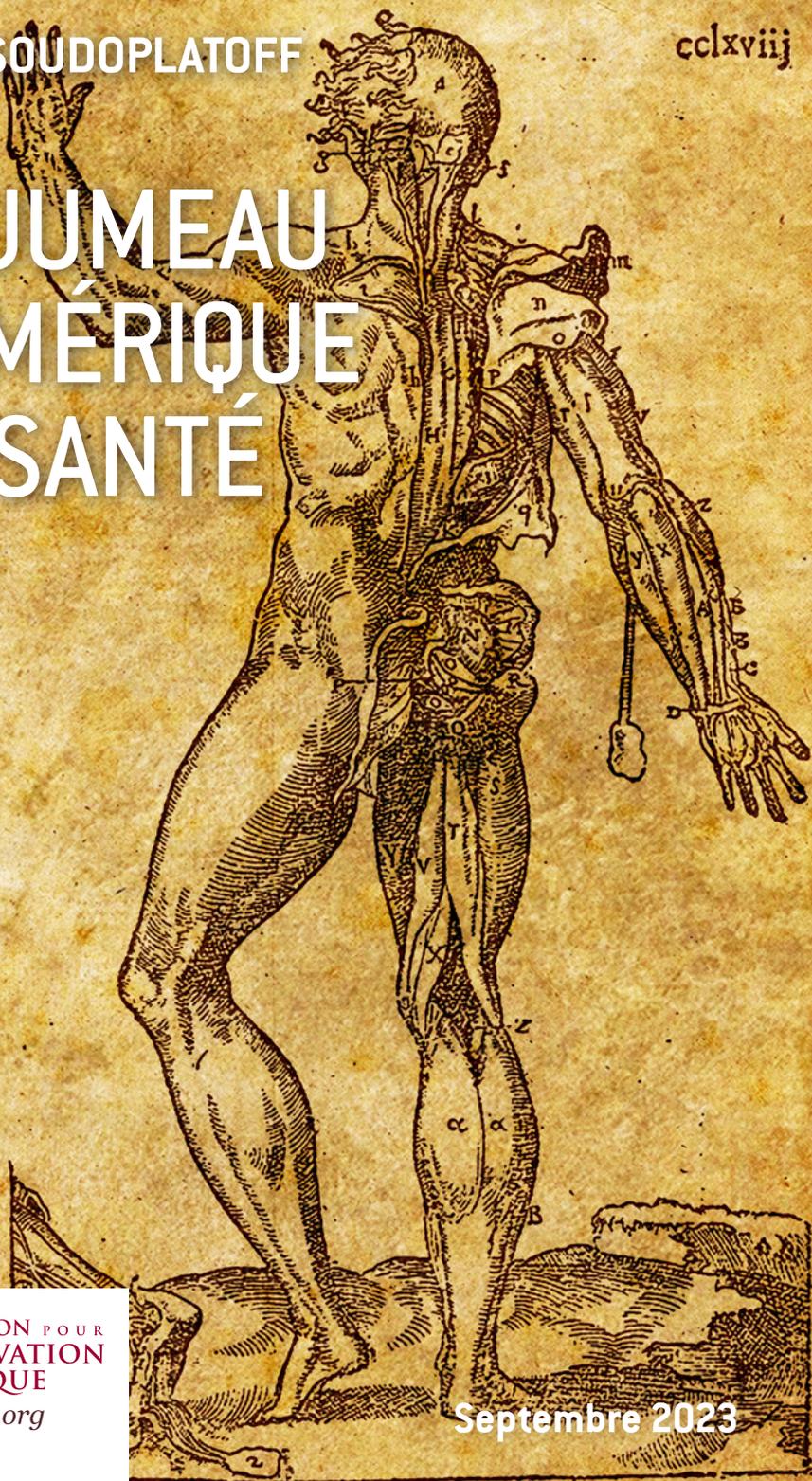


Serge SOUDOPLATOFF

cclxviii

LE Jumeau NUMÉRIQUE EN SANTÉ



FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondapol.org

Septembre 2023

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondapol.org

fondapol.org

LE JUMEAU NUMÉRIQUE EN SANTÉ

Serge SOUDOPLATOFF

La Fondation pour l'innovation politique
est un think tank libéral, progressiste et européen.

Président : Nicolas Bazire

Vice-Président : Grégoire Chertok

Directeur général : Dominique Reynié

Président du Conseil scientifique et d'évaluation : Christophe de Voogd

FONDATION POUR L'INNOVATION POLITIQUE

Un think tank libéral, progressiste et européen

Née en 2004, la Fondation pour l'innovation politique s'inscrit dans une perspective libérale, progressiste et européenne. Par ses travaux, elle contribue à un débat pluraliste et documenté.

Reconnue d'utilité publique, la Fondation met gratuitement à la disposition de tous la totalité de ses travaux sur le site **fondapol.org**. De plus, sa plateforme **data.fondapol** permet à chacun de consulter l'ensemble des données collectées dans le cadre des enquêtes. Ses bases de données sont utilisables, dans le prolongement de la politique d'ouverture et de partage des données publiques voulue par le gouvernement. Enfin, lorsqu'il s'agit d'enquêtes internationales, les données sont proposées dans les différentes langues du questionnaire.

La Fondation peut dédier une partie de son activité à des enjeux qu'elle juge stratégiques. Ainsi, le groupe de travail « **Anthropotechnie** » examine et initie des travaux explorant les nouveaux territoires ouverts par l'amélioration humaine, le clonage reproductif, l'hybridation homme-machine, l'ingénierie génétique et les manipulations germinales. Il contribue à la réflexion et au débat sur le transhumanisme. « **Anthropotechnie** » propose des articles traitant des enjeux éthiques, philosophiques et politiques que pose l'expansion des innovations technologiques dans le domaine de l'amélioration du corps et des capacités humaines.

La Fondation pour l'innovation politique est indépendante et n'est subventionnée par aucun parti politique. Ses ressources sont publiques et privées.

SOMMAIRE

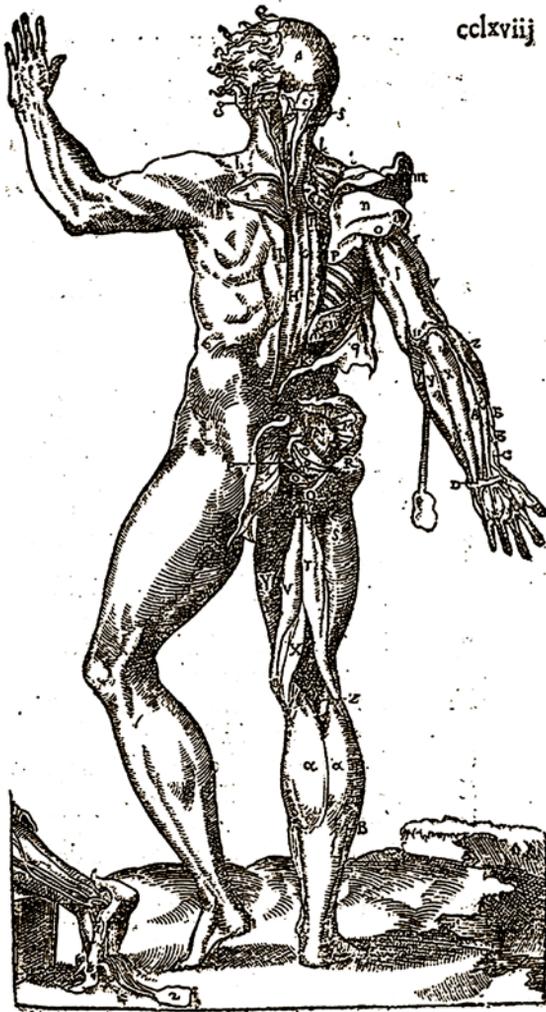
INTRODUCTION.....	9
I. POURQUOI UN JUMEAU NUMÉRIQUE EN SANTÉ ?	11
II. LES COMPOSANTES D'UN JUMEAU NUMÉRIQUE IDÉAL.....	15
1. L'ADN.....	15
2. La modélisation biologique des cellules et tissus.....	16
3. Le modèle 3D du corps humain.....	17
4. Le cerveau, les émotions.....	17
5. Les capteurs connectés.....	18
6. Le système d'information.....	19
7. L'intelligence artificielle.....	21
III. LES PROBLÈMES À RÉSOUDRE.....	23
IV. LE FUTUR.....	28
V. UNE NOUVELLE MÉDECINE.....	29

RÉSUMÉ

Nous connaissons la version ludique des avatars, ces doubles virtuels de nous-mêmes que nous faisons vivre dans nos jeux préférés. Ne pourrions-nous imaginer que ces doubles deviennent nos jumeaux, non seulement avec les mêmes traits physiques mais aussi avec une physiologie identique ?

Le jumeau numérique existe déjà dans le monde des objets industriels. Il est mis à jour à partir de données en temps réel et peut lui-même exécuter toutes sortes de simulations afin d'étudier des processus divers, incluant maintenant tout ce que les outils de l'intelligence artificielle peuvent apporter.

La grande innovation qu'apporterait le jumeau numérique en santé serait, *a minima*, d'être le support numérique qui permettrait à toutes les parties prenantes de la santé, qu'il s'agisse du personnel hospitalier, des laboratoires de recherche, des aidants à domicile, des systèmes de prise en charge des soins, d'avoir un outil commun pour traiter chaque cas individuel avec un maximum d'efficacité.



*Anatomie universelle du Corps humain,
composée par A. Paré Chirurgien ordinaire du Roy, 1561,
Bibliothèque interuniversitaire de santé, Paris.*

LE JUMEAU NUMÉRIQUE EN SANTÉ

Serge SOUDOPLATOFF

Expert de l'Internet, cofondateur de Mentia, avec Mandy Salomon,
entreprise qui a développé un monde virtuel pour personnes atteintes de troubles cognitifs.

INTRODUCTION

Certains se souviennent de *Second Life*, un monde virtuel en réseau, où l'on pouvait, au travers d'un avatar en 3D personnalisé, réaliser et partager des activités variées : se promener, visiter, survoler, construire, échanger, regarder des films, visiter des musées, boire des bières (virtuelles) et profiter de bien d'autres animations.

D'autres auront vu le film de Steven Spielberg *Ready Player One*, qui met en scène l'utopie d'un monde virtuel parallèle, accessible *via* des lunettes de réalité virtuelle. Comme dans *Second Life*, chaque individu crée un avatar qu'il contrôle et qui interagit avec d'autres avatars. *Ready Player One* aurait d'ailleurs influencé le design de Meta, le monde virtuel de Facebook, créé sur les mêmes principes¹.

Un avatar est une représentation idéalisée de soi-même, sur laquelle il est possible de projeter ses désirs. Des études ont montré que les personnes handicapées trouvaient dans *Second Life* une manière d'exister au-delà de leur handicap². La création d'un avatar de nous-même dans une version non plus ludique mais professionnelle pourrait alors promettre de belles réalisations dans le domaine de la santé. En nous inspirant de ce que pratique déjà le monde industriel, qui a développé depuis longtemps le concept de jumeau numérique, nous pourrions créer et bénéficier de notre jumeau numérique en santé.

1. Lequel a finalement été abandonné.

2. S. Stewart, T. S. Hansen et T. A. Carey, "Opportunities for people with disabilities in the virtual world of Second Life", *Rehabilitation Nursing*, 2010.

Dans le monde industriel, un jumeau numérique est la représentation virtuelle d'un objet ou d'un système qui s'aligne sur son cycle de vie. Il est mis à jour à partir de données en temps réel et utilise la simulation, l'apprentissage automatique et le raisonnement pour faciliter la prise de décision. C'est un ensemble de fichiers numériques qui dupliquent la réalité, et sur lesquels des traitements sophistiqués sont appliqués.

Un jumeau numérique dépasse le simple outil de simulation : c'est un environnement virtuel, ce qui le rend considérablement plus riche à étudier. La différence entre le jumeau numérique et la simulation est en grande partie une question d'échelle. Une simulation s'inscrit généralement dans un processus particulier alors qu'un jumeau numérique peut lui-même exécuter toutes sortes de simulations afin d'étudier plusieurs processus, incluant maintenant tout ce que les outils d'intelligence artificielle (IA) apportent.

En disposant de données de meilleure qualité et constamment mises à jour, relatives à un large éventail de domaines, combinées à la puissance de calcul qui accompagne un environnement virtuel, les jumeaux numériques sont en mesure d'étudier davantage de questions à partir de points de vue bien plus nombreux que ne le permettent les simulations standards. Leur potentiel d'amélioration des produits et des processus est bien supérieur.

Le Boeing 777 est le premier avion commercial à avoir volé des millions d'heures dans le monde numérique avant de voler pour la première fois dans le monde réel. Le design de tout avion moderne commence par la fabrication d'une maquette numérique, qui contient bien sûr le modèle physique en trois dimensions (3D) de l'avion et de ses composants, mais également la logique des commandes, ses systèmes internes, etc. Ce modèle existe également dans le monde automobile. Tesla construit par exemple un jumeau numérique de chaque voiture vendue³.

Dans le monde de la construction industrielle, la plupart des plateformes de forage en mer sont associées à une modélisation 3D qui est leur jumeau numérique. Toute usine conçoit une maquette de simulation numérique avant sa construction. Cette maquette permet de simuler des procédés utiles, comme faire rentrer les éléments imposants (par exemple une turbine) dans l'usine une fois construite⁴. Les avantages de cette méthode sont nombreux : la construction peut commencer au tiers du design ; les maintenances, y compris préventives et évolutives, sont facilitées, la résolution des problèmes passe par une simulation dans la maquette avant d'appliquer la réponse au réel.

3. « Modern manufacturing's triple pay: Digital twins, analytics & IoT », sas.com, article initialement publié dans *The Economist*.

4. Ceci utilise un ensemble d'outils appelés, non sans malice, « le problème du déménageur de piano ».

Il y a de plus en plus de recherches et d'entreprises publiques ou privées qui se positionnent autour de ce nouveau paradigme appliqué au corps humain. L'objectif ultime est que chaque individu possède un jumeau numérique de lui-même qui permettrait de simuler des traitements sophistiqués, permettant ensuite de choisir ceux à effectuer sur son corps vivant, comme on le pratique dans le monde des objets industriels.

I. POURQUOI UN JUMEAU NUMÉRIQUE EN SANTÉ ?

Le domaine de la santé est extrêmement complexe, dans tous les sens du terme. Le corps humain est un objet très sophistiqué. Il est le résultat, depuis son origine, d'essais-erreurs, à partir des premières molécules biologiques jusqu'à ce que nous sommes à présent, en ce début du troisième millénaire. Le cerveau à lui seul contient 86 milliards de neurones, auxquels s'ajoutent 1 000 à 10 000 synapses par neurone. Il faut lui ajouter le système nerveux digestif, qui contient environ 500 millions de neurones⁵. La relation entre ces « deux cerveaux » *via* le nerf vague est un sujet de recherche prometteur pour la compréhension des troubles psychiques ; et le lecteur comprendra maintenant pourquoi il est vraiment important de toujours bien digérer l'information.

À cette complexité physiologique s'ajoute une complexité organisationnelle. Les traditionnelles méthodes de gestion hiérarchique et les silos ne sont pas très efficaces lorsqu'il s'agit d'appréhender un individu dans son fonctionnement systémique. Le médecin de ville, l'infirmier, l'hôpital, le kinésithérapeute, l'acupuncteur, etc., œuvrent tous sur un même individu. Et pourtant, ils ne communiquent pas toujours efficacement entre eux, laissant souvent cette fonction à la charge du patient lui-même.

Il reste une troisième complexité, celle du modèle économique. La santé n'a peut-être pas de prix, mais elle a un coût. Malheureusement, c'est un système opaque : qui paye quoi est une question souvent difficile à aborder, d'autant plus que les pays ont des modèles économiques fondamentalement différents, rendant la comparaison difficile. La logique économique n'inclut pas tout ce qui contribue à la santé. Pourtant, si l'on prend la définition de la santé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui inclut les aspects de bien-être, alors passer un week-end reposant à la montagne devrait être remboursé par la Sécurité sociale.

5. Alexandra Gros, « L'image de la semaine : "Le ventre, notre deuxième cerveau" », CNRS, Le journal, 14 février 2017.

Tous ces problèmes d'organisation sont bien connus dans d'autres industries. Le numérique est la technologie qui a permis de faire face à ces complexités, d'améliorer les processus, et donc de rendre le système plus efficace.

La grande innovation qu'apporterait le jumeau numérique en santé serait, *a minima*, d'être le support numérique qui permettrait à toutes les parties prenantes de la santé d'avoir une vision commune sur un même individu.

De plus, ce jumeau numérique apporterait des solutions originales à un certain nombre de défis qui se posent aujourd'hui dans le domaine de la santé, ce que nous proposons d'aborder ici :

– **la médecine de précision** : les outils statistiques sont prédominants dans les études de médecine. L'idéologie était que l'on pouvait appliquer à un patient ayant certaines caractéristiques une moyenne d'observations sur un ensemble de patients ayant les mêmes caractéristiques⁶. Les outils numériques permettent de mieux personnaliser les approches des patients : l'un des grands axes de recherche actuellement est la médecine de précision. Elle consiste à définir des champs statistiques plus étroits, avec comme finalité une médecine appropriée à chaque individu. Cette médecine personnalisée pourrait s'appuyer sur des jumeaux numériques forcément individualisés. Le jumeau numérique serait également utile pour réaliser « les soins centrés sur la personne », qui est une approche assez proche de la médecine de précision car centrée sur les soins et non sur les médicaments, mais tendant au même objectif⁷.

– **la médecine prédictive et préventive** : la philosophie médicale française est centrée sur le curatif. Or, les outils dont nous disposons actuellement permettent de faire de la médecine prédictive, et même préventive, ce qui a d'énormes intérêts, tant sanitaires que financiers, à condition de prendre les bonnes décisions⁸. Certains pans de la médecine ont d'ailleurs franchi le pas : médecine scolaire, universitaire, médecine du travail. Un jumeau numérique serait un support de simulation permettant de prédire une évolution d'un état de santé. Par exemple, le groupe Aésio s'est associé à l'école des Mines afin de construire un jumeau numérique qui modélise les risques de fragilisation individualisés pour chaque senior⁹. De plus, par sa capacité à simuler un très grand nombre de traitements différents en un temps court, il est alors facile de comparer les résultats pour finalement trouver rapidement le meilleur traitement.

6. Ceci porte un nom en physique : l'ergodicité. Par exemple, un gaz est ergodique lorsque les moyennes temporelles de la vitesse de chaque molécule sont égales aux moyennes spatiales de toutes les molécules constituant le gaz à un instant donné.

7. Leila El-Alti, Lars Sandman et Christian Munthe, « Person Centered Care and Personalized Medicine: Irreconcilable Opposites or Potential Companions? », *Health Care Analysis : HCA : journal of health philosophy and policy*, 27(1), 2019, p. 45-59.

8. Didier Sicard, « Les perspectives de la médecine préventive et prédictive », *Revue française d'administration publique*, vol. n° 113, n° 1, 2005.

9. Voir aesio-sante.fr, « Box des fragilités ».

– **le maintien à domicile** : être à l'hôpital est stressant, et coûte cher au système de santé. Les pays nordiques privilégient depuis longtemps le maintien à domicile. Cette tendance est encore plus forte dans le contexte du vieillissement : rester chez soi le plus longtemps possible est le souhait de 90 % des seniors interrogés dans plusieurs enquêtes en France et en Europe¹⁰. Mais le maintien à domicile nécessite un suivi régulier et une surveillance rapprochée, surtout des patients fragiles¹¹. Un jumeau numérique, connecté en temps réel à des capteurs, serait un excellent moyen d'effectuer le suivi nécessaire afin d'assurer des soins de qualité, et serait un facteur rassurant tant pour les soignants que pour les familles, en leur permettant de partager l'état de santé de l'être cher et surtout de bien gérer les risques graves potentiels.

– **les erreurs de diagnostic** : c'est un sujet très délicat, sur lequel il est difficile d'avoir des chiffres précis. Une étude suggère que les médecins se trompent dans leurs diagnostics dans 10 à 15 % des cas¹² ; dans 10 à 20 % des autopsies il a été trouvé des causes de décès dues à des erreurs de diagnostic¹³. En 2014 en Europe, 200 000 personnes sont mortes à la suite de médications inadaptées¹⁴. Un jumeau numérique serait une aide précieuse au diagnostic, surtout avec sa composante intelligence artificielle (IA), qui serait un outil très performant dans ce cas de figure¹⁵.

– **l'optimisation des processus hospitalier** : dans le monde des entreprises, le numérique est l'un des outils fondamentaux permettant d'optimiser les processus et d'atteindre un équilibre dynamique quelles que soient les variations de l'environnement, ce qui se nomme l'homéostasie. Le corps humain en est un parfait exemple : qu'il fasse -10° C ou $+40^{\circ}$ C à l'extérieur, notre température interne reste constante, sauf quand nous avons de la fièvre. L'homéostasie est la condition de survie des entreprises dans un monde chaotique. Le numérique aide à atteindre l'homéostasie en fluidifiant les flux d'information, de connaissance ou d'expertise. Le numérique combat les trois principaux « mauvais » modes de management : la hiérarchie, les systèmes en silo, et les systèmes basés sur la méfiance. Pour atteindre cette homéostasie, l'hôpital doit, en sus des composants traditionnels de toute industrie, de la comptabilité aux chaînes

10. Voir « Aging In Place Vs. Assisted Living », aginginplace.org, rubrique "Facts".

11. Sur ce sujet, voir Alice Bouleau et Nicolas Bouzou, *Prestataires de santé à domicile : les entreprises au service du virage ambulatoire*, Fondation pour l'innovation politique, janvier 2022.

12. A. Schwartz and A. Elstein, « Clinical reasoning in medicine » in *Clinical reasoning in the health professions*, third edition, Higgs, Jones, Loftus, Christensen ed., 2008, p. 223 et *Improving Diagnosis in Health Care*, National Academies Press, 2015, un travail de synthèse sur les erreurs de diagnostic en médecine.

13. Mark L. Graber, « The incidence of diagnostic error in medicine », *BMJ Quality & Safety*, vol. 22, 2013.

14. Donald Light, « New prescription drugs: A major health risk with few offsetting advantages », *Lab Dispatches*, vol. 3, 2014.

15. Yogesh Kumar *et al.*, « Artificial intelligence in disease diagnosis: a systemic literature review, synthesizing framework and future research agenda », *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, vol. 14.7, 2023.

logistiques, intégrer non seulement le travail des soignants, mais également les différentes possibilités de prise en charge médicales des pathologies qui y sont traitées. Il doit donc inclure l'individualisation du traitement des patients. Un jumeau numérique « hospitalier », modélisant à la fois les patients, l'hôpital et ses processus, permettrait une optimisation à la fois des moyens mais aussi des traitements¹⁶.

– **le développement de médicaments** : de la même manière, il est possible de simuler une chaîne de production de médicaments et son impact sur le corps humain. Ceci permet d'accélérer leur développement. Si la réponse thérapeutique au Covid a été aussi rapide, c'est d'ailleurs, en partie grâce à l'utilisation d'outils de simulation numérique¹⁷ et surtout à la création d'un double digital conçu par un centre de vaccination¹⁸. La crainte d'un développement trop rapide d'un vaccin devient infondée, le numérique permettant de simuler toutes les possibles évolutions dans le temps. Ceci se pratique depuis longtemps dans le monde industriel où le numérique aide à simuler le vieillissement d'un système.

– **le système de santé basé sur la valeur (*Value based health care*)** : certains pays, dont la Suède, les États-Unis ou les Pays-Bas, ont décidé de radicalement changer le modèle économique de leur système de santé. Plutôt que de se focaliser sur le volume (les soins sont comptabilisés en fonction du nombre d'actes), c'est le résultat qui est privilégié, au travers de la mesure de l'efficacité du système. Ce que l'on cherche, c'est de maximiser les résultats ramenés à des unités monétaires dépensées (euro, dollar, etc.). Cette philosophie nécessite de pouvoir mesurer non seulement le résultats des soins, mais aussi leurs coûts. Pour optimiser le ratio, il faut alors raisonner en parcours de soins, donc développer la collaboration entre les équipes médicales, et surtout disposer de données sur toutes les étapes du parcours. La mise en œuvre d'une telle politique s'est toujours montrée très bénéfique, en obtenant à la fois une réduction des problèmes de santé et en même temps une diminution des coûts. Par exemple, aux Pays-Bas, la mise en place de ce système a permis de réduire de 53 % les taux de mortalité des cancers du côlon, de 20 % les taux de réintervention et de 9 % les coûts chirurgicaux¹⁹. Le jumeau numérique hospitalier, qui agrège toutes les données de santé, contient tous les ingrédients pour être le support du système basé sur la valeur, en intégrant en plus les coûts des traitements.

16. Sandra Bertezene, « Hôpital : les "jumeaux numériques", un nouvel outil de simulation », le blog du cnam, 18 novembre 2021.

17. David Sele, « The role of digital twins in producing a COVID-19 vaccine », *Atos*, 18 mai 2020.

18. Francesco Pilati *et al.*, « Digital Twin of COVID-19 Mass Vaccination Centers », *Sustainability*, vol. 13, n°. 13, 2021.

19. Patrick Olivier, « Retour d'expérience sur la mise en place du Value Based Healthcare en Europe du Nord et perspectives pour la France », *IVBAR France*, 2019. Une excellente présentation des résultats obtenus dans d'autres pays que la France, avec une réflexion sur comment faire chez nous.

II. LES COMPOSANTES D'UN JUMENTAUM NUMÉRIQUE IDÉAL

Un jumeau numérique humain est plus complexe à mettre en œuvre qu'un jumeau numérique industriel. En effet, les paramètres de l'évolution du corps humain sont spécifiques à chacun d'entre nous. Ces paramètres sont liés à une génétique individuelle, la multiplicité des environnements de vie, à l'unicité de nos trajectoires de santé personnelles, ainsi qu'à la présence de certaines pathologies chroniques chez certaines personnes.

Nous proposons ici la configuration du jumeau numérique idéal, celui qui contiendrait tout ce dont nous aurions besoin. Il est clair que le chemin pour l'atteindre est très long.

Il existe sept composantes fondamentales d'un jumeau numérique.

Quatre d'entre elles concernent la modélisation du corps humain :

- l'ADN ;
- la modélisation des tissus et des cellules ;
- le modèle 3D du corps humain ;
- le cerveau et tout ce qui s'y rattache, y compris les émotions.

Une composante concerne tout ce qui est de l'ordre des événements de la vie :

- des capteurs connectés mesurant en temps réel des événements : accidents, maladies, évolution des paramètres physiologiques.

Enfin, il y a tout ce qui concerne les technologies numériques qui permettent d'obtenir de ce jumeau numérique :

- des bases de données contenant tous les éléments statiques et dynamiques liés à la personne ;
- des traitements à effectuer sur ces données – interrogation, simulation, partage – où l'IA joue de plus en plus un rôle fondamental.

1. L'ADN

L'ADN doit figurer dans chaque jumeau numérique. Le séquençage génomique a fait d'énormes progrès depuis le début du troisième millénaire. La médecine génomique permet de réaliser des traitements de plus en plus individualisés²⁰. Une science en pleine croissance est l'épigénétique, qui s'intéresse au lien entre l'ADN et la cellule et, conséquemment, mesure

20. Voir Genomic and Immunotherapy Medical Institute.

l'impact de l'environnement personnel sur les mutations génétiques. Le rôle important de l'ARN messenger commence à trouver des applications, comme la création rapide de vaccins²¹ ou bien des traitements contre le cancer²².

Les séquençages génomiques effectués par les laboratoires de recherche ont atteint leur limite en ce qui concerne les génomes communs. La médecine de précision, à l'inverse, s'intéresse aux spécificités des individus. Les biologistes recherchent tout d'abord des variantes représentatives de groupes ethniques, les *structural variants* (SV), qui sont des variations sur quelques milliers de gènes. Le second niveau est les *single nucleotide variants* (SNV) qui sont des variations portant sur un seul nucléotide.

Le séquençage grand public est maintenant courant, effectué par des sociétés comme 23andme ou bien MyHeritage²³ qui commercialisent des kits aux environ de 100 \$. L'entreprise américaine Predictiv commercialise des kits plus complets labellisés « Predictive DNA-Based Digital Twin » dont le prix est aux alentours de 1 000 dollars, permettant d'analyser les risques associés à plus de 22 000 maladies et de simuler la réaction de notre corps à 45 médicaments²⁴, tout en conservant ces données (qui font donc partie du jumeau numérique) dans leur base.

2. La modélisation biologique des cellules et tissus

Au-dessus de l'ADN, les éléments biologiques fondamentaux sont les briques de la construction de la vie, et doivent figurer dans le jumeau numérique. Les protéines, qui viennent d'être répertoriées dans un atlas permettant de les lier à des maladies²⁵, sont des structures dont le modèle 3D²⁶ est fondamental pour la compréhension de leur mécanisme, voire leur création. L'utilisation récente d'algorithmes d'intelligence artificielle permet de réaliser cette importante construction d'un modèle 3D à partir du modèle en 2D de la molécule²⁷, ce qui permet, entre autres, le développement rapide de vaccins.

21. Voir [inserm.fr](https://www.inserm.fr), « Secret de fabrication : c'est quoi un ARN messenger », 10 décembre 2020.

22. Edward Winstead, « Can mRNA Vaccines Help Treat Cancer », National Cancer Institute, 20 janvier 2022.

23. Notons que, en 2023, c'est toujours interdit en France, les kits n'étant pas considérés comme suffisamment complets. Depuis janvier 2023, les entreprises américaines ont décidé de ne plus livrer ces kits en France.

24. Voir [predictivcare.com](https://www.predictivcare.com).

25. J. L. Johnson *et al.*, « An atlas of substrate specificities for the human serine/threonine kinome », *Nature*, vol. 613, 2023.

26. Rappelons la brillante découverte de Pasteur : les molécules du vivant sont asymétriques, alors que les molécules du non vivant sont symétriques.

27. Shelly Fan, « DeepMind's AlphaFold is Close to Solving One of Biology's Greatest Challenges », *Singularity hub*, 15 décembre 2020.

Plusieurs disciplines concourent à la compréhension des phénotypes. Elles sont regroupées sous le terme générique de leur suffixe : « omique » car intégrant la génomique (l'ADN), la transcriptomique (l'ARN), la protéomique (les protéines), la métabolomique (la biochimie). La médecine de précision a besoin de la compréhension de ces éléments pour développer une médecine orientée sur le patient.

Par exemple, le projet SimbiotX de l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (INRIA)²⁸ modélise les tissus multicellulaires jusqu'aux organes afin de simuler la réaction potentielle à des actes chirurgicaux.

3. Le modèle 3D du corps humain

Avoir une représentation 3D fine du corps humain de chaque individu est déjà indispensable dans certains contextes, comme la chirurgie fine où le chirurgien peut répéter son geste sur un modèle 3D, voire effectuer l'intervention à distance. La combinaison avec des outils de réalité virtuelle et de réalité augmentée permet plus de précision et donc plus de succès dans les interventions.

La modélisation 3D des organes est le champ le plus avancé en termes de construction d'un jumeau numérique. Par exemple, Predisurge, un *spin-off* de l'école des Mines de Saint-Étienne, effectue des modélisations 3D pour simuler l'impact d'un implant, avec un premier test sur la chirurgie cardiovasculaire²⁹.

Dassault Systèmes est l'entreprise la plus en pointe sur le plan mondial sur ce sujet. Profitant de sa grande expertise en modélisation 3D de bâtiments, Dassault Systèmes s'est spécialisé sur le jumeau numérique industriel³⁰. En 2014, l'entreprise a commencé la modélisation d'organes humains en commençant par le cœur³¹. Lui ont succédé la modélisation du cerveau, puis celle des processus hospitaliers.

4. Le cerveau, les émotions

Le cerveau est-il le siège des émotions ? Les médecines alternatives, l'acuponcture en premier lieu, s'intéressent plus à une vision holistique du corps, et situent les émotions dans divers organes comprenant le cœur,

28. « Jumeau numérique pour soins réels : SimbiotX modélise la santé du futur », inria.fr, 11 janvier 2022.

29. Voir predisurge.com, "3D Numerical Simulation".

30. Voir 3ds.com, "Virtual Twin Experiences in Life Sciences & Healthcare".

31. Voir 3ds.com, "The Living Heart Project".

les poumons, le foie, même s'il s'agit plutôt d'organes au sens fonctionnel voire symbolique que physiologique³². La médecine occidentale, au contraire, voit le cerveau comme l'organe où se produisent des réactions biologiques liées à des événements comme la peur, la tristesse, la joie, la dépression, etc.³³

Le cerveau fait l'objet de découvertes récentes remarquables et rapides, grâce à la disponibilité de méthodes d'investigations modernes comme les IRM. Les cartographies de ses zones commencent à être bien connues.

Le champ des émotions est un sujet d'exploration naissant, qui trouve dans la santé numérique des outils prometteurs. Des systèmes de détection d'émotions existent dans trois domaines : la reconnaissance faciale, la détection par la parole, et la détection par des éléments physiologiques, comme la pulsation cardiaque. Il est possible de catégoriser ces émotions, et de les intégrer dans un jumeau numérique³⁴. Par exemple, des systèmes de détection de variations dans la parole permettent de détecter des signes précoces de maladies neurodégénératives³⁵.

Le consortium Neurotwin, qui regroupe des universités européennes et le Massachusetts Institute of Technology (MIT), propose un jumeau numérique centré sur le cerveau, afin de détecter des risques associés comme l'épilepsie ou Alzheimer³⁶.

La captation de l'état psychologique des personnes se fait souvent en utilisant une méthode dite « Ecological Momentary Assessment³⁷ ». Il s'agit d'une méthode de recherche longitudinale qui demande aux personnes de décrire régulièrement leur état psychique : sentiments, pensées, comportements dans leur environnement naturel. Ces paramètres sont de plus en plus conservés dans les bases de données de santé, et doivent figurer dans un jumeau numérique.

5. Les capteurs connectés

Les capteurs connectés sont rentrés dans les mœurs. Que ce soit en statique, comme les balances connectées, ou en mobilité comme les montres ou les bracelets, les paramètres mesurés sont de plus en plus nombreux. Ils incluent des paramètres de base comme le poids, l'indice de masse

32. Voir FMRC académie, « Les émotions et la médecine traditionnelle chinoise ».

33. Fédération pour la Recherche sur le Cerveau, « Les émotions ».

34. Barathi Subramanian *et al.*, « Digital Twin Model: A Real-Time Emotion Recognition System for Personalized Healthcare », *IEEE Access*, 2022.

35. Rupesh M. Kumar *et al.* « Dementia Detection from Speech Using Machine Learning and Deep Learning Architectures », *Sensors* [Basel, Switzerland], vol. 22, 2022.

36. Voir neurotwin.eu

37. Saul Shiffman *et al.* « Ecological momentary assessment », *Annual review of clinical psychology*, vol. 4, 2008.

corporelle, le nombre de pas effectués, les chutes éventuelles, mais aussi des éléments plus sophistiqués comme les pulsations cardiaques, la tension artérielle, le taux d'oxygène dans le sang, etc. S'ils ne sont pas forcément aussi précis que dans les versions hospitalières, les indications que les capteurs connectés fournissent permettent déjà un suivi de l'état de santé d'une personne.

Un jumeau numérique se doit de conserver tout l'historique de santé, y compris les activités physiques et les paramètres associés : pulsation cardiaque, taux d'oxygène dans le sang, tension artérielle, etc. Ceci permet de faire le lien entre tout problème de santé et les activités qui peuvent en être la cause, mais aussi de fournir à des systèmes d'intelligence artificielle les données nécessaires pour faire des diagnostics. Le jumeau numérique doit fournir les données dont l'IA a soif.

6. Le système d'information

Le jumeau numérique doit techniquement être sur un serveur, voire éventuellement sur plusieurs, à condition qu'ils soient connectés entre eux. La situation actuelle est très désordonnée. En France, le dossier médical partagé (DMP) s'est révélé être un échec. Aux États-Unis, les grands acteurs du numérique se sont mis sur le créneau. Google a créé Google Health en 2008, qui a fermé entre 2013 et 2018 par manque d'intérêt, puis qui s'est orienté vers la production de données pour l'intelligence artificielle plutôt qu'un service pour le grand public. Le partenariat *Exposure Notification* de Google et Apple lors de la pandémie, dont l'objectif était de tracer les mouvements des personnes afin de vérifier s'il y avait eu un contact rapproché entre elles, n'a pas été bien perçu. L'*American Civil Liberties Union* (ACLU) a publié un commentaire très dubitatif³⁸. Son équivalent européen est le protocole DP-3T (*Decentralized Privacy-Preserving Proximity Tracing*), bien que, contrairement à Google et Apple, il ne soit pas disponible au niveau du système d'exploitation des smartphones.

Plus généralement, le concept de *Electronic Health Record* (EHR) s'étend dans le monde, et a vu la création de beaucoup de start-up sur ce sujet. En 2021, une étude estimait à 500 le nombre de différents EHR³⁹, les trois premiers ayant plus de 70 % du marché, selon une distribution de type Pareto. Le sujet de l'interopérabilité de ces systèmes d'information est crucial, et la Commission européenne a publié une recommandation sur un format d'échange⁴⁰.

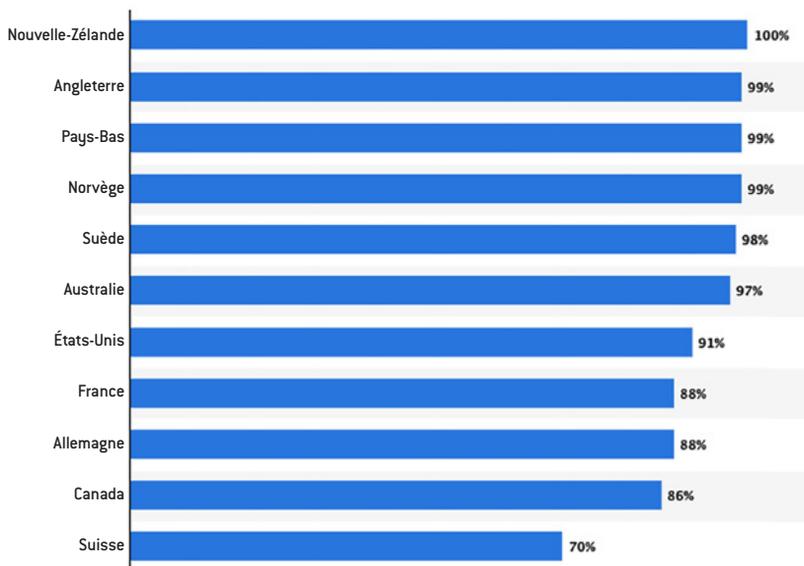
38. Voir aclu.org.

39. Jeff Green, « Who are the largest EHR vendors », ehrpractice.com, 16 mars 2023.

40. Voir europa.eu.

Les données de ces systèmes peuvent provenir du milieu hospitalier, mais aussi des médecins. Une statistique de 2019⁴¹ place la Nouvelle-Zélande en tête, avec 100 % des médecins utilisant un système de gestion numérique des dossiers des patients, la France arrivant en 8^e position avec 88 % des médecins.

Part des médecins généralistes utilisant des dossiers médicaux électroniques en 2019



Source: statista.org

Dans toute transformation numérique, le point le plus important à résoudre est celui de la confiance. La *blockchain* est la solution technologique qui permet de distribuer cette confiance⁴². L'Estonie est le pays le plus en pointe sur l'usage de la *blockchain* pour les données de santé : depuis 2011, les données sont sur une *blockchain*, accessibles *via* une smart card unique pour chaque citoyen⁴³.

Une partie du système d'information se trouve également sur nos smartphones, lorsque nous utilisons des applications de santé. On recensait en 2022 un peu plus de 40 000 applications de santé⁴⁴.

41. Voir statista.com.

42. Serge Soudoplatoff et Yves Caseau, *La blockchain ou la confiance distribuée*, Fondation pour l'innovation politique, 2016. Cette capacité de distribuer la confiance répond bien au problème de la perte de confiance dans les institutions, tout en laissant la possibilité à l'institution de devenir l'opérateur de la blockchain.

43. Voir innohealthmagazine.com.

44. Patreek Sharma, "Healthcare App Development: Top Trends for 2023", *In Fitness and In Health*, 28 décembre 2022.

Ce chiffre est largement en décroissance – en fin 2017 un rapport recensait 318 000 applications⁴⁵. De toute évidence, beaucoup d’entre elles n’étaient pas très utiles voire de médiocre qualité, et ont fini par disparaître des *app stores*. Cette décroissance montre la maturité du marché de ces applications.

L’interconnexion de tous ces systèmes assurera la continuité des soins qui est un élément critique de la santé⁴⁶. Le jumeau numérique pourrait être distribué, si l’interopérabilité fonctionne bien.

7. L’intelligence artificielle

En 2023, alors qu’il y a un énorme *buzz* autour de ChatGPT, il est nécessaire de bien comprendre ce qu’est l’intelligence artificielle, et surtout ce que cela permet, et ne permet pas⁴⁷.

Une intelligence artificielle est un programme informatique destiné à résoudre des tâches comme reconnaître des objets dans des images, ou bien effectuer d’autres actions de l’ordre d’un raisonnement humain.

Pour ce faire, il y a deux catégories d’IA : celle qui suit des structures logiques, et celle qui calcule des statistiques sophistiquées. Prenons un exemple simple : comprendre une phrase écrite. La première catégorie suivra les logiques de la grammaire formelle à la mode de Chomsky, et tentera de trouver un sujet, un verbe, un complément. La deuxième catégorie comparera la phrase avec un corpus de millions de phrases qui auront été déjà classifiées, et donnera la réponse la plus probable selon des critères de classification très sophistiqués.

Aujourd’hui, la deuxième catégorie est celle qui est le plus objet de recherches. Elle nécessite néanmoins des corpus d’apprentissage énormes qui auront été proprement indexés pour que cela fonctionne. ChatGPT, par exemple, a ingurgité un corpus de 500 milliards d’éléments de langage.

La méthode se révèle puissante lorsqu’il s’agit de faire un diagnostic et qu’il existe des données. La méthode, en revanche, ne fonctionne pas dans tous les cas de figure. C’est ainsi que :

- l’IA ne sait pas faire lorsque les corpus d’apprentissage n’existent pas ou sont trop peu nombreux. Dans ce cas, rien ne remplace l’intuition humaine, que l’on pourrait définir comme « la capacité de prendre une décision avec peu de données » ;

45. Serge Soudoplatoff, *Le numérique au secours de la santé*, Fondation pour l’innovation politique, 2019.

46. Voir mjhs.org.

47. Serge Soudoplatoff, *L’intelligence artificielle : l’expertise partout accessible à tous*, Fondation pour l’innovation politique, 2018.

– l'IA ne sait pas faire face à l'inattendu, à l'exceptionnel. Elle a peu de compétences dans l'art par exemple. Pour reprendre le coup de colère de Nick Cave contre ChatGPT, jamais une IA n'aura connu la perte de deux fils, et la création artistique qui s'ensuit⁴⁸. Elle saura au mieux répliquer, mais pas inventer.

L'intelligence artificielle en santé est redoutablement efficace dans certains domaines où la possibilité de digérer des millions de données se révèle un atout énorme. Aujourd'hui, une IA sait beaucoup mieux analyser des radiographies parce qu'elle a ingurgité des millions d'images, ce qu'un radiologue, quelle que soit sa compétence, ne saura jamais faire. Le traitement des problèmes de peau est un autre domaine où l'IA est performante, se basant sur des analyses de nombreuses images. Tout ce qui concerne les essais cliniques est un autre champ où le besoin est d'utiliser, de créer, d'interroger de grandes bases de données, et donc d'utiliser une IA.

De fait, l'IA a essentiellement besoin de données, donc de l'être humain⁴⁹.

En guise de synthèse, pour atteindre le jumeau numérique idéal, une première étape serait de mettre en œuvre plusieurs jumeaux numériques « partiels » du patient pour comprendre son état de santé, définir sa pathologie et pouvoir tester différents scénarios d'intervention. Un scénario d'intervention peut ainsi utiliser un médicament ou un dispositif médical, ou même les deux. Un jumeau numérique orienté médicament serait utilisé pour tester la molécule ou le dispositif médical. S'il s'agit d'une opération, alors un jumeau numérique modélisant le corps humain serait utilisé. Bien évidemment, tous ces jumeaux numériques se doivent d'être interoperables.

Cette technologie permettra de véritablement réaliser la médecine personnalisée : par exemple trouver le bon traitement spécifique pour un patient donné, au bon moment. Il y aura également un certain nombre de bénéfices secondaires. D'abord, le patient comprendra mieux ce qui va se produire lors de l'intervention. Il pourra ainsi devenir acteur de sa propre santé, et la prévention sera renforcée. De plus, ces progrès permettraient aux médecins d'avoir plus de temps disponible. En effet, si le jumeau numérique teste à leur place un certain nombre de configurations réalisées autrefois « à la main », on libère du temps médical sans briser pour autant le lien avec le patient, le médecin ayant lors de la rencontre physique déjà balayé tout un ensemble d'hypothèses que le jumeau numérique aura

48. Marcus Dupont-Besnard, « Nick Cave déteste la chanson écrite par ChatGPT dans le style de Nick Cave », numerama.com, 17 janvier 2023.

49. Pierre-Louis Desprez et Serge Soudoplatoff, « Pourquoi l'intelligence artificielle a-t-elle besoin de l'humain ? », *Spirale*, 2020.

testé à sa place. Le médecin deviendra alors un « spécialiste système » de chacun de ses patients, qu'il verra d'une part au travers de la synthèse d'un ensemble de données, mais aussi dans leur dimension psychologique. Cette vision « système » du patient permettra également une meilleure collaboration entre médecins de diverses spécialités, chacun ayant accès aux mêmes données. En contrepartie, le médecin qui refuserait d'utiliser le jumeau numérique serait alors pénalisé, n'ayant pas accès à l'aide de l'ensemble des données et des expertises autour de son patient. Ceci demande bien évidemment une formation au jumeau numérique dès les premières années de médecine à l'université.

III. LES PROBLÈMES À RÉSOUDRE

De toutes les industries, la santé est celle qui a le plus de retard en ce qui concerne l'adoption du numérique. Les nombreux progrès qui ont été réalisés ces dernières années concernent souvent des niches, sans véritable vision globale ni développements de services efficaces. L'échec du dossier médical personnalisé montre bien la difficulté de la tâche. En 2021, 10 % de la population française avait un dossier dans le DMP⁵⁰, alors que 95 % des Français consultaient leurs comptes en banque *via* Internet ou le mobile⁵¹.

Il existe plusieurs raisons à ce retard, dont les principales sont :

- un modèle économique compliqué, que nous avons déjà abordé dans cette note. L'innovation n'est jamais facile lorsque les flux financiers ne sont pas clairs, lorsque le « qui paye quoi » est flou. Ajoutons à cela la psychologie bien française du « la santé n'a pas de prix » qui, pourtant, cache le fait qu'elle a un coût, et donc empêche de comptabiliser les réductions de coût que le numérique permet ;
- le rejet du numérique par une partie du corps médical. Certains médecins se plaignent que l'écran est un obstacle entre eux et le patient. Cela dit, les jeunes générations sont de plus en plus dans une logique du numérique, et ont intégré l'écran dans leur pratique⁵² ;

50. Voir facs-idf.fr, « Dossier médical partagé. Une histoire mouvementée ». Le DMP a été initié en 2004. Atteindre 10 % de la population en 17 ans n'est pas un succès. D'ailleurs, en février 2023, le DMP disparaît, au profit de « Mon espace Santé ».

51. Fédération bancaire française, « Les Français, leur banque, leurs attentes », Étude IFOP-FBF, 15 novembre 2022.

52. Ipsos, « Santé Connect' 2018 : quelles sont les sources d'informations majeures des professionnels de santé ? », 4 juin 2018.

– un blocage psychologique de la population. La première idée qui vient à l'esprit est la crainte du piratage des données. Cette crainte est surestimée : 95 % de la population accède à son compte en banque en ligne *via* un ordinateur ou un smartphone, et pourtant le piratage des données financières est un risque aussi important. Le blocage psychologique vient donc d'un autre problème : en matière de santé, la psychologie individuelle prend le pas sur la rationalité. Certaines personnes ne désirent pas savoir par avance si elles seront atteintes d'une maladie grave dans le futur. Or, la promesse fondamentale du numérique est que nous le saurons, et le jumeau numérique en est son vecteur. Résoudre ce problème passera forcément par une éducation dans les écoles. C'est un chemin long et difficile, surtout parce qu'il touche à l'intime.

Comme souvent en innovation, un retard peut devenir une opportunité, à condition qu'un plan au niveau de l'État soit structuré (le *health data hub* en est une des premières pierres). Pour construire ce jumeau numérique, il faut néanmoins traiter un ensemble de questions fondamentales que pose son existence.

La puissance de calcul, le stockage

Les diverses composantes d'un jumeau numérique demandent des capacités de stockage et de puissance de calcul. En termes de stockage, les chiffres par personne ne sont pas énormes. L'ADN nécessite 800 Mo de stockage. Une modélisation 3D du corps humain dépend bien sûr de la précision souhaitée, mais un modèle générique d'organe nécessite quelques Mo⁵³. En revanche, une modélisation totale du cerveau demanderait énormément de place et surtout une grande puissance de calcul, mais nous n'en sommes pas encore à ce stade⁵⁴. Du côté de l'IA, les prouesses des systèmes de conversation de type *Generative Pre-trained Transformer* (GPT) montrent que ce n'est pas un problème.

Validation des données

Un jumeau numérique ne peut fournir de bons résultats que si les données sur lesquelles il repose sont valides. Cela signifie un certain nombre d'éléments :

- la source est connue ;
- les données sont enregistrées lorsqu'elles sont produites ;
- les données proviennent directement de la source ; toute transformation

53. On en trouve en open source pour quelques dollars. Voir free3d.com et sketchfab.com.

54. Ray Kurtzweil, le créateur du concept de singularité, prétend que les ordinateurs auront dépassé en puissance de calcul le cerveau humain en 2050.

- doit être traçable et il ne faut pas changer la donnée originale ;
- la précision des données doit être connue ;
- les données doivent être lisibles par un être humain ;
- les données sont complètes, rien n'est oublié ;
- les données sont consistantes, et non contradictoires.

Le champ des essais cliniques fournit depuis longtemps les cadres conceptuels et organisationnels qui permettent la validation de ces données. Ces cadres devront être utilisés pour le jumeau numérique

Open data et propriété intellectuelle

Le modèle internet a montré à quel point l'*open data* est une philosophie qui amplifie l'innovation. Ceci est encore vrai en 2023 : le mouvement récent de l'OpenAI, autrement dit la mise à disposition publique d'algorithmes puissants d'intelligence artificielle, permet une énorme éclosion d'innovations multiples, qui, même si beaucoup sont encore au stade du laboratoire, sont extrêmement prometteuses⁵⁵. Cette philosophie doit s'appliquer aux données de santé, avec néanmoins une précaution qui est l'anonymisation de ces données. Nous trouvons d'ailleurs déjà plusieurs centaines de bases de données en *open source*, qui sont surtout des données statistiques⁵⁶.

Cybersécurité

La principale raison invoquée contre la numérisation des données de santé est le risque de piratage. Malheureusement, certains hôpitaux ont récemment fait face à des intrusions de pirates. Le maillon faible de la sécurité reste toujours l'être humain, qui a une fâcheuse tendance à choisir des mots de passe simples. En 2023, même si les mots de passe sont cryptés⁵⁷, les *hackers* ont depuis longtemps des bases de données des mots de passe les plus fréquents. Néanmoins, des normes très strictes s'appliquent déjà aux données de santé : la norme *Health Insurance Portability and Accountability Act* (HIPAA) aux États-Unis, la norme hébergement de données de santé (HDS) en France. Cependant, le coût élevé des hébergements HDS en France, est souvent un frein pour les start-up.

55. L'auteur de ces lignes est actuellement en train de développer un modèle de dialogue pour personnes atteintes de troubles cognitifs à un stade moyen à avancé. Sans l'*OpenAI*, ce ne serait pas faisable sauf à injecter des centaines de millions d'euros.

56. Sur ce sujet, voir libguides.com, oecd.org, et apps.who.int.

57. Ce ne fut pas toujours le cas. Par exemple, au début d'Internet, certains sites conservaient les mots de passe non cryptés dans leur base et lorsqu'un utilisateur l'avait oublié, on lui renvoyait son mot de passe en clair dans un email.

L'organisation

Le jumeau numérique est un lieu de conservation des données. Il faut donc que tous les fournisseurs acceptent de mettre la main au pot. Pour cela, il faut mettre tout le système en mode coopératif. Dans une société qui aime bien la hiérarchie et les silos, cette transformation n'est pas facile. C'est encore trop souvent le patient qui doit faire le lien entre tous les systèmes d'information.

Gouvernance et régulation

Le rôle de la confiance est fondamental. En France, l'État se pose en garant de cette confiance, et vient de créer le *health data hub*, qui est un Groupement d'intérêt public (GIP) regroupant 56 acteurs publics et privés de la santé⁵⁸. C'est un point de départ incontournable au jumeau numérique. En Europe, le *European Health Data Space* lancé en 2022, se veut un organisme permettant l'accès aux mêmes soins pour tout citoyen européen, où qu'il se trouve. Aux États-Unis, le site *Healldata*⁵⁹ est un lieu de partage d'informations, mais plutôt pour des données cliniques qu'individuelles. La culture américaine, qui refuse le principe du guichet unique⁶⁰, n'est pas propice à une concentration des données de santé individuelles.

Problème d'éthique

Les problèmes éthiques sont nombreux. Tout d'abord, à qui appartiennent les données ? La réponse varie selon les pays. Aux États-Unis, les données appartiennent plus souvent aux plateformes qu'aux individus. Par exemple ce que nous publions sur Facebook appartient à Facebook. Ensuite, le risque est grand d'avoir, d'un côté, les plus fortunés qui ont leur jumeau numérique, et les pauvres qui n'en ont pas. Dans un système complexe comme peut l'être un hôpital, comment gérer ceux qui refusent le jumeau numérique, et risquent donc de dégrader la qualité des soins ? Si un patient a le droit de ne pas connaître les problèmes futurs de santé qui risquent de se poser, le système a-t-il le devoir de le savoir pour lui ? Le rapport de l'individuel au collectif en santé n'est pas nouveau ; rappelons-nous les débats sur la ceinture de sécurité⁶¹. En 2023, le mouvement « antivax » est

58. Arrêté du 29 novembre 2019 portant approbation d'un avenant à la convention constitutive du groupement d'intérêt public « Institut national des données de santé » portant création du groupement d'intérêt public « Plateforme des données de santé », *JORF*, n° 0278 du 30 novembre 2019.

59. Voir healthdata.gov.

60. Ceci est le résultat de conversations avec des professionnels américains, travaillant dans le domaine de la santé numérique. Pour eux, le principe d'avoir le choix de son système de santé est intangible. Un système de guichet unique serait inacceptable, car « ce serait du socialisme ». Le lecteur pourra rechercher sur internet « one stop shop healthcare » pour voir à quel point le sujet est à peine abordé. Parfois c'est même l'inverse, Deloitte se demande comment faire pour que l'Europe adopte le système américain.

61. Laure Besnier, « "Dangereuse", "ridicule", "gênante"... Quand la ceinture de sécurité faisait débat », *Ouest-France*, 5 août 2021.

très actif dans le débat public *via* les réseaux sociaux. Remarquons tout de même qu'il existe depuis plusieurs siècles avec d'ailleurs une remarquable constance argumentaire basée sur la négation des preuves scientifiques⁶². La science ne fait pas bon ménage avec la croyance. Pourtant, le jumeau numérique a déjà permis de développer plus rapidement des vaccins qui, dans le futur, seront encore plus personnalisés.

À toutes ces questions s'ajoute une spécificité de notre pays. En France, la médecine curative est la norme, alors que la médecine préventive peine à trouver sa place. Le jumeau numérique, entre autres parce qu'il offre d'énormes possibilités de simulation, est un élément de prédiction très prometteur. Par conséquent, il est un énorme support de la médecine prédictive et préventive. Malheureusement, le modèle économique de la santé est basé sur la multiplication des actes. Tout le système est centré sur le traitement, pas sur la personne. Les hôpitaux sont trop souvent des variables d'ajustement de l'emploi et de l'économie, ce qui peut parfois nuire à leur capacité de restaurer la bonne santé.

Le problème principal est de décider quelle instance de confiance gèrerait notre jumeau numérique, sur quel serveur les données seraient conservées, quelle intelligence artificielle serait utilisée, quels capteurs, etc. Si l'on reprend toutes les composantes du jumeau numérique asymptotique, on constate que plusieurs acteurs sont dominants sur chaque brique :

- sur l'ADN, la maîtrise vient soit des gouvernements au travers des programmes de séquençages génétiques, soit de sociétés privées, le plus souvent américaines ;
- sur les aspects biologiques, l'industrie pharmaceutique possède beaucoup de données, et également l'expertise correspondante ;
- sur le modèle 3D du corps humain, ce sont des hôpitaux ou des entreprises privées, Dassault System en tête, qui sont en pointe ;
- sur les capteurs, ce sont des entreprises privées comme Apple, Samsung, Fitbee, etc., qui non seulement capturent les données à la source, mais qui proposent l'hébergement de ces données ;
- sur les systèmes d'information, ce sont soit des tentatives gouvernementales comme en France le DMP, soit des sociétés privées comme aux États-Unis, qui ont créé ces systèmes d'information ;
- sur le cerveau, ce sont plutôt des laboratoires universitaires qui mènent les recherches. En revanche, sur les aspects psychosociaux, on pourrait voir des réseaux sociaux tels Facebook ou Instagram comme la plus

62. Voir wikipedia.org, « controverse sur la vaccination ».

grande base de données comportementales, qui pourraient ainsi enrichir les bases de données du jumeau numérique ;

- enfin, sur les aspects intelligence artificielle, ce sont des entreprises comme IBM, Google ou OpenAI qui, ayant d'énormes quantités de données, sont pour l'instant les leaders.

Le jumeau numérique sera-t-il géré par une organisation unique, ou bien par un ensemble coopératif d'acteurs partageant les données ? Sur un sujet aussi sensible, il est difficile de faire une prédiction. Dans le modèle français, c'est l'État qui doit jouer ce rôle ; dans le modèle anglo-saxon, qui privilégie le « pragma » sur le « dogma », ce sont plutôt les entreprises privées qui offriront des services, le choix de la solution qui lui convient le mieux étant laissé à l'utilisateur. Il reste évident que, quels que soient les acteurs, ils devront avant tout générer de la confiance. Le modèle puissant de la *blockchain* est le support technologique de cette confiance, et devrait être utilisé.

IV. LE FUTUR

Nous ne sommes qu'à l'aube de nombreuses technologies. Certaines, encore en laboratoire, vont impacter les développements du jumeau numérique.

La *blockchain* est une technologie qui représente une vraie rupture, car en distribuant la confiance, elle résout le problème du rejet des institutions⁶³. Développée surtout pour les cryptomonnaies, elle trouve de nombreuses applications en dehors de ce champ, comme la traçabilité de la chaîne alimentaire. Dans la santé, nous pouvons imaginer que la création du dossier numérique de santé adossé à une *blockchain* réalisée en Estonie fera écho dans d'autres pays. Dubaï et les Émirats arabes unis ont également lancé des projets de données de santé sur une *blockchain*. D'une manière générale, une *blockchain* donnerait aux citoyens l'assurance de la possession de leurs données, empêcherait des pirates de s'emparer et de monétiser ces données, et surtout certains États ou entreprises privées de surveiller nos faits et gestes.

63. Sur ce sujet, voir Serge Soudoplatoff et Yves Caseau, *La blockchain, ou la confiance distribuée*, Fondation pour l'innovation politique, juin 2016.

L'informatique quantique est un autre secteur qui permettra de grandes avancées. Les ordinateurs quantiques sont des machines qui sont théoriquement capables d'effectuer des calculs avec une rapidité d'un niveau supérieur à tout ce qui existe actuellement⁶⁴. Dans le domaine de l'intelligence artificielle, cela permettrait de réaliser énormément de calculs dans un temps raisonnable. La création de molécules de synthèse, qui demande des calculs très intensifs, pourrait se faire en quelques heures. La simulation de l'impact de nouveaux médicaments sur le jumeau numérique en serait grandement facilitée.

La médecine génétique est un troisième lieu de progrès potentiel énorme, mais qui est aussi le plus effrayant pour le grand public. Le CrispR-Cas9, qui est une manipulation au niveau des gènes, permet de faire des changements profonds, comme changer la couleur des yeux d'un embryon. On pourrait soigner beaucoup de maladies *via* des traitements génétiques, qui seraient d'abord effectués sur le jumeau numérique avant d'être transférés au cas réel.

Enfin, le bio *engineering* est un secteur dont l'impact est fortement lié au jumeau numérique : la possibilité de créer des éléments humains, comme des tissus, à partir de données numériques, ouvre la voie à une véritable médecine individualisée. La bio-ingénierie couplée au jumeau numérique apporterait la même puissance d'expression que les imprimantes 3D dans le monde industriel, surtout basés sur l'*open source*.

V. UNE NOUVELLE MÉDECINE

Le jumeau numérique en santé est directement inspiré de sa version industrielle. Il en diffère grandement par sa promesse de personnalisation. Cette approche en mode « ingénierie » de la médecine, qui date de la Renaissance⁶⁵, a permis d'énormes progrès dans la chirurgie. Par exemple, la modélisation du cœur en utilisant des analogies mécaniques avec les pompes a rendu possibles beaucoup d'interventions cardiaques.

64. En termes mathématiques, les ordinateurs quantiques peuvent résoudre des problèmes non polynomiaux, donc le temps de calcul est fonction exponentielle du nombre de paramètres, en un temps polynomial, donc grosso modo proportionnel au nombre de paramètres. Les conséquences sont vertigineuses. Par exemple, la plupart des codes de sécurité deviennent cassables.

65. On ne saurait trop mettre en avant les remarquables textes d'André Vésale, qui ont révolutionné la médecine du XVI^e siècle jusqu'à nos jours.

Le jumeau numérique en santé va beaucoup plus loin. Il applique au corps humain des concepts qui viennent tout droit de l'industrie : la bonne santé est l'équivalent du fonctionnement normal d'un système, la mauvaise est le fonctionnement anormal ; la médecine préventive est l'équivalent de la maintenance prédictive ; tout ce qui concerne les améliorations du corps humain comme par exemple la chirurgie esthétique se nomme dans l'industrie « optimisation des performances » ; tout ce qui est de l'ordre de l'humain augmenté *via* l'utilisation de médicaments, d'implants, etc. est le miroir de l'ajout de nouvelles fonctionnalités⁶⁶.

L'humain augmenté est un exemple typique d'ingénierie. Lorsque nous remplaçons une partie du corps par une prothèse, la tentation est alors grande d'essayer d'améliorer nos performances. Les implants neuronaux pour les aveugles en sont un exemple. Le méthylphénidate est un psychostimulant puissant utilisé dans les troubles d'attention, mais qui est aussi utilisé pour stimuler nos performances mentales.

La question qui se pose alors est celle de la normalité. En ingénierie, il est simple de définir ce que sont les paramètres normatifs d'un objet, et toute construction de l'objet doit être identique à cette norme, à quelques variations près, que l'on nomme options. Ce n'est pas le cas des individus, tout jumeau numérique est censé représenter une seule personne. Comment définir alors un état de santé qui se veut universel pour tous les individus ? Une personne déclarée saine selon la médecine traditionnelle pourrait très bien avoir son jumeau numérique très éloigné de paramètres dits « standards ». Mais alors, quand doit-on intervenir ? Surtout, la distinction entre la thérapie et l'augmentation devient plus floue ; dans les deux cas, il s'agit de changer les paramètres d'un système.

En revanche, en observant la manière dont travaille un acuponcteur, on s'aperçoit que la médecine chinoise fait une modélisation individuelle de chaque patient selon son propre schéma – les méridiens en acuponcture – et met à jour cette modélisation à chaque visite. Cette médecine construit d'une certaine manière un jumeau « analogique » de nous-même. Nous retrouvons ici un débat passionnel, que connaissent les audiophiles ou photographes, sur le numérique versus l'analogique. En Chine également, les médecins étaient payés lorsque les individus étaient en bonne santé, et ne l'étaient plus lorsqu'ils étaient malades. Quelque part, ils avaient déjà inventé la santé basée sur la valeur. Pourrions-nous construire un jumeau hybride en santé, qui combinerait le meilleur des mondes numériques et analogiques ?

66. Il ne s'agit pas ici d'émettre un jugement de valeur, mais de décrire une philosophie qui devient une forte tendance. Comme je le pose plus loin, nous arriverons probablement à intégrer médecine mécaniste et médecine humaniste.

Dans toute innovation de rupture, il y a toujours deux étapes. La première consiste à faire comme avant avec un nouvel outil. C'est au mieux inutile, au pire contre-performant. Ensuite, il y a une remise en cause des processus pour profiter au mieux de l'outil. Ce jumeau numérique asymptotique nous offre l'opportunité de repenser totalement ce qu'est le corps humain, en quoi il est semblable et différent d'une machine.

Capter toute la valeur du jumeau numérique en santé nécessite l'adoption de la médecine curative et préventive. Il nécessite un changement de modèle économique vers un modèle basé sur la valeur et l'obtention de résultats. Il nécessite de repenser les différents acteurs du monde de la santé, ainsi que leurs rôles, et surtout leurs relations dans une vision systémique.

Seul cet effort de refondation, que le jumeau numérique aidera, nous permettra de grandement améliorer notre système de santé.

Serge SOUDOPLATOFF

LE NUMÉRIQUE AU SECOURS DE LA SANTÉ

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondapol.org

Janvier 2019





Alice BOULEAU
Nicolas BOUZOU

PRESTATAIRES DE SANTÉ À DOMICILE : LES ENTREPRISES AU SERVICE DU VIRAGE AMBULATOIRE

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondipol.org

Janvier 2022

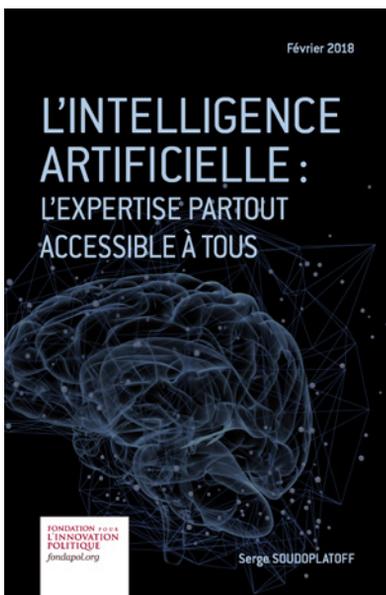


Nicolas BOUZOU
Guillaume MOUKALA SAME

COMPLÉMENTAIRES SANTÉ : MOTEUR DE L'INNOVATION SANITAIRE

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondipol.org

Octobre 2021

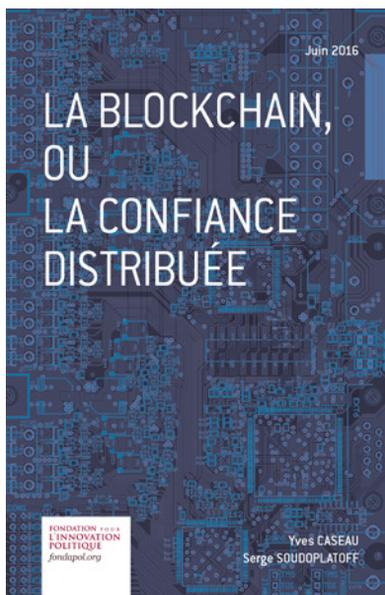


Février 2018

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE : L'EXPERTISE PARTOUT ACCESSIBLE À TOUS

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondipol.org

Serge SOUDOPLATOFF



Juin 2016

LA BLOCKCHAIN, OU LA CONFIANCE DISTRIBUTUÉE

FONDATION POUR
L'INNOVATION
POLITIQUE
fondipol.org

Yves CASEAU
Serge SOUDOPLATOFF

NOS PUBLICATIONS

La régulation du numérique : Chine, États-unis, France

Aifang Ma, septembre 2023, 44 pages

L'industrie française du jeu vidéo. De la French Touch à la French Pride

Loïse Lyonnet et Pierre Poinson, juillet 2023, 40 pages

La défiance vue par le prisme du médiateur de l'assurance

Arnaud Chneiweiss, juillet 2023, 26 pages

L'Europe et notre souveraineté. L'Europe est nécessaire, la France aussi

Édouard Balladur, juin 2023, 18 pages

L'enseignement supérieur privé en France

Laurent Batsch, juin 2023, 57 pages

Complexité. Critique d'une idéologie contemporaine

Sophie Chassat, juin 2023, 40 pages

Politique migratoire : que faire de l'accord franco-algérien de 1968 ?

Xavier Driencourt, mai 2023, 29 pages

De la transition écologique à l'écologie administrée, une dérive politique

David Lisnard et Frédéric Masquelier, mai 2023, 30 pages

Pour un nouvel ordre énergétique européen

Cécile Maisonneuve, avril 2023, 56 pages

Le XXI^e siècle du christianisme - édition de poche

Dominique Reynié (dir.), éditions du Cerf, mars 2023, 378 pages

Élections, médias et réseaux sociaux : un espace public en décomposition

Victor Delage, Dominique Reynié, Mathilde Tchounikine, mars 2023, 32 pages

Souveraineté, maîtrise industrielle et transition énergétique (2)

Transition énergétique, géopolitique et industrie : quel rôle pour l'État ?

Jean-Paul Bouttes, mars 2023, 48 pages

Souveraineté, maîtrise industrielle et transition énergétique (1)

Les conditions de réussite du programme nucléaire français de 1945 à 1975

Jean-Paul Bouttes, mars 2023, 44 pages

Immigration : comment font les États européens

Fondation pour l'innovation politique, mars 2023, 46 pages

La politique danoise d'immigration : une fermeture consensuelle

Fondation pour l'innovation politique, janvier 2023, 57 pages

L'opinion européenne 2020-2022

Dominique Reynié (dir.), éditions Marie B/collection Lignes de Repères, décembre 2022, 240 pages

Innovation politique 2021 (tome 2)

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2022, 340 pages

Innovation politique 2021 (tome 1)

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2022, 440 pages

Maghreb : l'impact de l'islam sur l'évolution sociale et politique

Razika Adnani, décembre 2022, 36 pages

Italie 2022 : populismes et droitisation

Anna Bonalume, octobre 2022, 60 pages

Quel avenir pour la dissuasion nucléaire ?

Bruno Tertrais, octobre 2022, 39 pages

Mutations politiques et majorité de gouvernement dans une France à droite

Sous la direction de Dominique Reynié, septembre 2022, 64 pages

Paiements, monnaie et finance à l'ère numérique (2)

Les questions à long terme

Christian Pfister, juillet 2022, 34 pages

Paiements, monnaie et finance à l'ère numérique (1)**État des lieux et perspectives à court-moyen terme**

Christian Pfister, juillet 2022, 47 pages

La montée en puissance de l'islamisme woke dans le monde occidental

Lorenzo Vidino, juin 2022, 29 pages

2022, présidentielle de crises

Sous la direction de Dominique Reynié, avril 2022, 80 pages

Les déchets nucléaires : une approche globale (4)**La gestion des déchets : rôle et compétence de l'État en démocratie**

Jean-Paul Bouttes, janvier 2022, 49 pages

Les déchets nucléaires : une approche globale (3)**L'enjeu des générations futures**

Jean-Paul Bouttes, janvier 2022, 41 pages

Les déchets nucléaires : une approche globale (2)**Les solutions pour maîtriser le risque effectif**

Jean-Paul Bouttes, janvier 2022, 42 pages

Les déchets nucléaires : une approche globale (1)**Déchets et déchets nucléaires : durée de vie et dangers potentiels**

Jean-Paul Bouttes, janvier 2022, 49 pages

Radiographie de l'antisémitisme en France – édition 2022

AJC Paris et Fondation pour l'innovation politique, janvier 2022, 38 pages

Prestataires de santé à domicile : les entreprises au service du virage ambulatoire

Alice Bouleau et Nicolas Bouzou, janvier 2022, 34 pages

Libertés : l'épreuve du siècle

Sous la direction de Dominique Reynié, janvier 2022, 96 pages

Enquête réalisée en partenariat avec l'International Republican Institute, la Community of Democracies, la Konrad-Adenauer-Stiftung, Genron NPO, la Fundación Nuevas Generaciones et República do Amanhã

Élections départementales et régionales 2021 : une analyse cartographique

Céline Colange, Sylvain Manternach, décembre 2021, 76 pages

Innovation politique 2020 (tome 2)

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2021, 428 pages

Innovation politique 2020 (tome 1)

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2021, 344 pages

Défendre l'autonomie du savoir

Nathalie Heinich, novembre 2021, 32 pages

Rapport pour l'Assemblée nationale. Mission d'information visant à identifier les ressorts de l'abstention et les mesures permettant de renforcer la participation électorale

Fondation pour l'innovation politique, novembre 2021, 82 pages

2022, le risque populiste en France (vague 5)**Un indicateur de la protestation électorale**

Dominique Reynié (dir.), octobre 2021, 72 pages

Parti et Démocratie

Piero Ignazi, aux éditions Calmann-Lévy, avec le concours de la Fondation pour l'innovation politique et de Terra Nova, octobre 2021, 504 pages

Commerce illicite de cigarettes, volet II.**Identifier les parties prenantes, les effets de réseaux et les enjeux financiers**

Mathieu Zagrodzki, Romain Maneveau et Arthur Persais, octobre 2021, 32 pages

Complémentaires santé : moteur de l'innovation sanitaire

Nicolas Bouzou et Guillaume Moukala Same, octobre 2021, 47 pages

Les décroissants en France. Un essai de typologie

Eddy Fougier, septembre 2021, 31 pages

Les attentats islamistes dans le monde, 1979-2021

Fondation pour l'innovation politique, septembre 2021, 84 pages

Les primaires électorales et les systèmes de départage des candidats à l'élection présidentielle

Laurence Morel et Pascal Perrineau, août 2021, 51 pages

L'idéologie woke. Face au wokisme (2)

Pierre Valentin, juillet 2021, 32 pages

L'idéologie woke. Anatomie du wokisme (1)

Pierre Valentin, juillet 2021, 34 pages

Protestation électorale en 2021 ?

Données issues du 1^{er} tour des élections régionales

Abdellah Bouhend, Victor Delage, Anne Flambert, Élsa Grandjean, Katherine Hamilton, Léo Major, Dominique Reynié, juin 2021, 40 pages

2022, le risque populiste en France (vague 4)

Un indicateur de la protestation électorale

Dominique Reynié (dir.), juin 2021, 64 pages

La conversion des Européens aux valeurs de droite

Victor Delage, mai 2021, 40 pages

Les coûts de la transition écologique

Guillaume Bazot, mai 2021, 37 pages

Le XXI^e siècle du christianisme

Dominique Reynié (dir.), éditions du Cerf, mai 2021, 376 pages

Les protestants en France, une minorité active

Jean-Paul Willaime, avril 2021, 34 pages

L'agriculture bio et l'environnement

Bernard Le Buanec, mars 2021, 27 pages

Devrions-nous manger bio ?

Léon Guéguen, mars 2021, 36 pages

Quel avenir pour l'agriculture et l'alimentation bio ?

Gil Kressmann, mars 2021, 48 pages

Pauvreté dans le monde : une baisse menacée par la crise sanitaire

Julien Damon, février 2021, 33 pages

Reconquérir la biodiversité, mais laquelle ?

Christian Lévêque, février 2021, 37 pages

Énergie nucléaire : la nouvelle donne internationale

Marco Baroni, février 2021, 66 pages

Souveraineté économique : entre ambitions et réalités

Emmanuel Combe et Sarah Guillou, janvier 2021, 66 pages

Relocaliser en décarbonant grâce à l'énergie nucléaire

Valérie Faudon, janvier 2021, 36 pages

Après le Covid-19, le transport aérien en Europe : le temps de la décision

Emmanuel Combe et Didier Bréchemier, décembre 2020, 40 pages

Avant le Covid-19, le transport aérien en Europe : un secteur déjà fragilisé

Emmanuel Combe et Didier Bréchemier, décembre 2020, 35 pages

Glyphosate, le bon grain et l'ivraie

Marcel Kuntz, novembre 2020, 45 pages

Covid-19 : la réponse des plateformes en ligne face à l'ultradroite

Maygane Janin et Flora Deverell, novembre 2020, 42 pages

2022, le risque populiste en France (vagues 2 et 3)

Un indicateur de la protestation électorale Dominique Reynié, octobre 2020, 86 pages

Relocalisations : laisser les entreprises décider et protéger leur actionnariat

Frédéric Gonand, septembre 2020, 37 pages

Europe : la transition bas carbone, un bon usage de la souveraineté

Patrice Geoffron, septembre 2020, 35 pages

Relocaliser en France avec l'Europe

Yves Bertoncini, septembre 2020, 40 pages

Relocaliser la production après la pandémie ?

Paul-Adrien Hyppolite, septembre 2020, 46 pages

Qui paie ses dettes s'enrichit

Christian Pfister et Natacha Valla, septembre 2020, 37 pages

L'opinion européenne en 2019

Dominique Reynié (dir.), éditions Marie B/collection Lignes de Repères, septembre 2020, 212 pages

Les assureurs face au défi climatique

Arnaud Chneiweiss et José Bardaji, août 2020, 33 pages

Changements de paradigme

Josef Konvitz, juillet 2020, 20 pages

Hongkong : la seconde rétrocession

Jean-Pierre Cabestan et Laurence Daziano, juillet 2020, 62 pages

Tsunami dans un verre d'eau

Regard sur le vote Europe Écologie-Les Verts aux élections municipales de 2014 et de 2020 dans 41 villes de plus de 100 000 habitants Sous la direction de Dominique Reynié, juillet 2020, 44 pages

Innovation politique 2019 (tome 2)

Fondation pour l'innovation politique, juin 2020, 412 pages

Innovation politique 2019 (tome 1)

Fondation pour l'innovation politique, juin 2020, 400 pages

Covid-19 - États-Unis, Chine, Russie, les grandes puissances inquiètent l'opinion

Victor Delage, juin 2020, 16 pages

De la distanciation sociale à la distanciation intime

Anne Muxel, juin 2020, 24 pages

Covid-19 : Cartographie des émotions en France

Madeleine Hamel, mai 2020, 24 pages

Ne gaspillons pas une crise

Josef Konvitz, avril 2020, 23 pages

Retraites : leçons des réformes suédoises

Kristoffer Lundberg, avril 2020, 37 pages

Retraites : leçons des réformes belges

Frank Vandembroucke, février 2020, 40 pages

Les biotechnologies en Chine : un état des lieux

Aifang Ma, février 2020, 44 pages

Radiographie de l'antisémitisme en France

AJC Paris et Fondation pour l'innovation politique, janvier 2020, 32 pages

OGM et produits d'édition du génome : enjeux réglementaires et géopolitiques

Catherine Regnault-Roger, janvier 2020, 35 pages

Des outils de modification du génome au service de la santé humaine et animale

Catherine Regnault-Roger, janvier 2020, 32 pages

Des plantes biotech au service de la santé du végétal et de l'environnement

Catherine Regnault-Roger, janvier 2020, 32 pages

Le soldat augmenté : regards croisés sur l'augmentation des performances du soldat

CREC Saint-Cyr et la Fondation pour l'innovation politique, décembre 2019, 128 pages

L'Europe face aux nationalismes économiques américain et chinois (3)Défendre l'économie européenne par la politique commerciale
Emmanuel Combe, Paul-Adrien Hyppolite et Antoine Michon, novembre 2019, 52 pages**L'Europe face aux nationalismes économiques américain et chinois (2)**Les pratiques anticoncurrentielles étrangères
Emmanuel Combe, Paul-Adrien Hyppolite et Antoine Michon, novembre 2019, 40 pages

L'Europe face aux nationalismes économiques américain et chinois (1)

Politique de concurrence et industrie européenne

Emmanuel Combe, Paul-Adrien Hyppolite et Antoine Michon, novembre 2019, 36 pages

Les attentats islamistes dans le monde, 1979-2019

Fondation pour l'innovation politique, novembre 2019, 80 pages

Vers des prix personnalisés à l'heure du numérique ?

Emmanuel Combe, octobre 2019, 46 pages

2022, le risque populiste en France (vague 1)

Un indicateur de la protestation électorale

Dominique Reynié, octobre 2019, 44 pages

La Cour européenne des droits de l'homme, protectrice critiquée des « libertés invisibles »

Jean-Luc Sauron, octobre 2019, 48 pages

1939, l'alliance soviéto-nazie : aux origines de la fracture européenne

Stéphane Courtois, septembre 2019, 51 pages

Saxe et Brandebourg. Percée de l'AFD aux élections régionales du 1^{er} septembre 2019

Patrick Moreau, septembre 2019, 26 pages

Campements de migrants sans-abri : Comparaisons européennes et recommandations

Julien Damon, septembre 2019, 44 pages

Vox, la fin de l'exception espagnole

Astrid Barrio, août 2019, 36 pages

**Élections européennes 2019. Le poids des électors
comparé au poids électoral des groupes parlementaires**

Raphaël Grelon et Guillemette Lano. Avec le concours de Victor Delage et Dominique Reynié,
juillet 2019, 22 pages

Allô maman bobo (2). L'électorat urbain, de la gentrification au désenchantement

Nelly Garnier, juillet 2019, 40 pages

Allô maman bobo (1). L'électorat urbain, de la gentrification au désenchantement

Nelly Garnier, juillet 2019, 44 pages

L'affaire Séralini. L'impasse d'une science militante

Marcel Kuntz, juin 2019, 35 pages

Démocraties sous tension

Sous la direction de Dominique Reynié, mai 2019,

volume I, Les enjeux, 156 pages ; **volume II**, Les pays, 120 pages

Enquête réalisée en partenariat avec l'International Republican Institute

La longue gouvernance de Poutine

Michel Eltchaninoff, mai 2019, 31 pages

Politique du handicap : pour une société inclusive

Sophie Cluzel, avril 2019, 23 pages

Ferroviaire : ouverture à la concurrence, une chance pour la SNCF

David Valence et François Bouchard, mars 2019, 42 pages

Un an de populisme italien

Alberto Toscano, mars 2019, 33 pages

Une mosquée mixte pour un islam spirituel et progressiste

Eva Janadin et Anne-Sophie Monsinay, février 2019, 46 pages

Une civilisation électrique (2). Vers le réenchantement

Alain Beltran et Patrice Carré, février 2019, 34 pages

Une civilisation électrique (1). Un siècle de transformations

Alain Beltran et Patrice Carré, février 2019, 32 pages

Prix de l'électricité : entre marché, régulation et subvention

Jacques Percebois, février 2019, 42 pages

Vers une société post-carbone

Patrice Geoffron, février 2019, 36 pages

Énergie-climat en Europe : pour une excellence écologique

Emmanuel Tuchscherer, février 2019, 26 pages

Innovation politique 2018 (tome 2)

Fondation pour l'innovation politique, janvier 2019, 544 pages

Innovation politique 2018 (tome 1)

Fondation pour l'innovation politique, janvier 2019, 472 pages

L'opinion européenne en 2018

Dominique Reynié (dir.), éditions Marie B/collection Lignes de Repères, janvier 2019, 176 pages

La contestation animaliste radicale

Eddy Fougier, janvier 2019, 35 pages

Le numérique au secours de la santé

Serge Soudoplatoff, janvier 2019, 38 pages

Le nouveau pouvoir français et la coopération franco-japonaise

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2018, 204 pages

Les apports du christianisme à l'unité de l'Europe

Jean-Dominique Durand, décembre 2018, 29 pages

La crise orthodoxe (2). Les convulsions, du XIX^e siècle à nos jours

Jean-François Colosimo, décembre 2018, 31 pages

La crise orthodoxe (1). Les fondations, des origines au XIX^e siècle

Jean-François Colosimo, décembre 2018, 28 pages

La France et les chrétiens d'Orient, dernière chance

Jean-François Colosimo, décembre 2018, 33 pages

Le christianisme et la modernité européenne (2)**Comprendre le retour de l'institution religieuse**

Philippe Portier et Jean-Paul Willaime, décembre 2018, 30 pages

Le christianisme et la modernité européenne (1)**Récuser le déni**

Philippe Portier et Jean-Paul Willaime, décembre 2018, 30 pages

Commerce illicite de cigarettes : les cas de Barbès-La Chapelle, Saint-Denis et Aubervilliers-Quatre-Chemins

Mathieu Zagrodzki, Romain Maneveau et Arthur Persais, novembre 2018, 64 pages

L'avenir de l'hydroélectricité

Jean-Pierre Corniou, novembre 2018, 41 pages

Retraites : Leçons des réformes italiennes

Michel Martone, novembre 2018, 33 pages

Les géants du numérique (2) : un frein à l'innovation ?

Paul-Adrien Hyppolite et Antoine Michon, novembre 2018, 77 pages

Les géants du numérique (1) : magnats de la finance

Paul-Adrien Hyppolite et Antoine Michon, novembre 2018, 56 pages

L'intelligence artificielle en Chine : un état des lieux

Aifang Ma, novembre 2018, 40 pages

Alternative für Deutschland : établissement électoral

Patrick Moreau, octobre 2018, 49 pages

Les Français jugent leur système de retraite

Fondation pour l'innovation politique, octobre 2018, 28 pages

Migrations : la France singulière

Didier Leschi, octobre 2018, 34 pages

Les Français face à la crise démocratique : Immigration, populisme, Trump, Europe...

AJC Europe et la Fondation pour l'innovation politique, septembre 2018, 72 pages

La révision constitutionnelle de 2008 : un premier bilan**Préface d'Édouard Balladur et de Jack Lang**

Hugues Hourdin, octobre 2018, 28 pages

Les « Démocrates de Suède » : un vote anti-immigration

Johan Martinsson, septembre 2018, 41 pages

Les Suédois et l'immigration (2) : fin du consensus ?

Tino Sanandaji, septembre 2018, 33 pages

Les Suédois et l'immigration (1) : fin de l'homogénéité ?

Tino Sanandaji, septembre 2018, 35 pages

Éthiques de l'immigration

Jean-Philippe Vincent, juin 2018, 35 pages

Les addictions chez les jeunes (14-24 ans)

Fondation pour l'innovation politique, juin 2018, 56 pages

Enquête réalisée en partenariat avec la Fondation Gabriel Péri et le Fonds Actions Addictions

Villes et voitures : pour une réconciliation

Jean Coldefy, juin 2018, 40 pages

France : combattre la pauvreté des enfants

Julien Damon, mai 2018, 32 pages

Que pèsent les syndicats ?

Dominique Andolfatto, avril 2018, 40 pages

L'élan de la francophonie : pour une ambition française (2)

Benjamin Boutin, mars 2018, 28 pages

L'élan de la francophonie : une communauté de langue et de destin (1)

Benjamin Boutin, mars 2018, 28 pages

L'Italie aux urnes

Sofia Ventura, février 2018, 29 pages

L'intelligence artificielle : l'expertise partout accessible à tous

Serge Soudoplatoff, février 2018, 40 pages

L'innovation à l'ère du bien commun

Benjamin Boscher, Xavier Pavie, février 2018, 44 pages

Libérer l'islam de l'islamisme

Mohamed Louizi, janvier 2018, 64 pages

Gouverner le religieux dans un état laïc

Thierry Rambaud, janvier 2018, 36 pages

L'opinion européenne en 2017

Dominique Reynié (dir.), Fondation pour l'innovation politique, janvier 2018, 140 pages

Innovation politique 2017 (tome 2)

Fondation pour l'innovation politique, janvier 2018, 492 pages

Innovation politique 2017 (tome 1)

Fondation pour l'innovation politique, janvier 2018, 468 pages

Une « norme intelligente » au service de la réforme

Victor Fabre, Mathieu Kohmann, Mathieu Luinaud, décembre 2017, 28 pages

Autriche : virage à droite

Patrick Moreau, novembre 2017, 32 pages

Pour repenser le bac, réformons le lycée et l'apprentissage

Fayçal Hafied, novembre 2017, 55 pages

Où va la démocratie ?

Sous la direction de Dominique Reynié, Plon, octobre 2017, 320 pages

Violence antisémite en Europe 2005-2015

Johannes Due Enstad, septembre 2017, 31 pages

Pour l'emploi : la subrogation du crédit d'impôt des services à la personne

Bruno Despujol, Olivier Peraldi et Dominique Reynié, septembre 2017, 33 pages

Marché du travail : pour la réforme !

Fayçal Hafied, juillet 2017, 45 pages

Le fact-checking : une réponse à la crise de l'information et de la démocratie

Farid Gueham, juillet 2017, 49 pages

Notre-Dame- des-Landes : l'État, le droit et la démocratie empêchés

Bruno Hug de Larauze, mai 2017, 37 pages

France : les juifs vus par les musulmans. Entre stéréotypes et méconnaissances

Mehdi Ghouirgate, Iannis Roder et Dominique Schnapper, mai 2017, 38 pages

Dettes publiques : les mesurer, les réduire

Jean-Marc Daniel, avril 2017, 33 pages

Parfaire le paritarisme par l'indépendance financière

Julien Damon, avril 2017, 36 pages

Former, de plus en plus, de mieux en mieux. L'enjeu de la formation professionnelle

Olivier Faron, avril 2017, 31 pages

Les troubles du monde, l'islamisme et sa récupération populiste :**l'Europe démocratique menacée**

Pierre-Adrien Hanania, AJC, Fondapol, mars 2017, 44 pages

Porno addiction : nouvel enjeu de société

David Reynié, mars 2017, 34 pages

Calais : miroir français de la crise migratoire européenne (2)

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, mars 2017, 52 pages

Calais : miroir français de la crise migratoire européenne (1)

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, mars 2017, 38 pages

L'actif épargne logement

Pierre-François Gouiffès, février 2017, 31 pages

Réformer : quel discours pour convaincre ?

Christophe de Voogd, février 2017, 37 pages

De l'assurance maladie à l'assurance santé

Patrick Negaret, février 2017, 34 pages

Hôpital : libérer l'innovation

Christophe Marques et Nicolas Bouzou, février 2017, 30 pages

Le Front national face à l'obstacle du second tour

Jérôme Jaffré, février 2017, 33 pages

La République des entrepreneurs

Vincent Lorphelin, janvier 2017, 37 pages

Des startups d'État à l'État plateforme

Pierre Pezziardi et Henri Verdier, janvier 2017, 36 pages

Vers la souveraineté numérique

Farid Gueham, janvier 2017, 31 pages

Repenser notre politique commerciale

Laurence Daziano, janvier 2017, 35 pages

Mesures de la pauvreté, mesures contre la pauvreté

Julien Damon, décembre 2016, 25 pages

L'Autriche des populistes

Patrick Moreau, novembre 2016, 59 pages

L'Europe face aux défis du pétro-solaire

Albert Bressand, novembre 2016, 34 pages

Le Front national en campagnes. Les agriculteurs et le vote FN

Eddy Fougier et Jérôme Fourquet, octobre 2016, 36 pages

Innovation politique 2016

Fondation pour l'innovation politique, PUF, octobre 2016, 758 pages

Le nouveau monde de l'automobile (2) : les promesses de la mobilité électrique

Jean-Pierre Corniou, octobre 2016, 48 pages

Le nouveau monde de l'automobile (1) : l'impasse du moteur à explosion

Jean-Pierre Corniou, octobre 2016, 34 pages

L'opinion européenne en 2016

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, septembre 2016, 224 pages

L'individu contre l'étatisme. Actualité de la pensée libérale française (XX^e siècle)

Jérôme Perrier, septembre 2016, 39 pages

L'individu contre l'étatisme. Actualité de la pensée libérale française (XIX^e siècle)

Jérôme Perrier, septembre 2016, 39 pages

Refonder l'audiovisuel public

Olivier Babeau, septembre 2016, 31 pages

La concurrence au défi du numérique

Charles-Antoine Schwerer, juillet 2016, 27 pages

Portrait des musulmans d'Europe : unité dans la diversité

Vincent Tournier, juin 2016, 51 pages

Portrait des musulmans de France : une communauté plurielle

Nadia Henni-Moulaï, juin 2016, 33 pages

La blockchain, ou la confiance distribuée

Yves Caseau et Serge Soudoplatoff, juin 2016, 35 pages

La gauche radicale : liens, lieux et luttes (2012-2017)

Sylvain Boulouque, mai 2016, 41 pages

Gouverner pour réformer : éléments de méthode

Erwan Le Noan et Matthieu Montjotin, mai 2016, 54 pages

Les zadistes (2) : la tentation de la violence

Eddy Fougier, avril 2016, 29 pages

Les zadistes (1) : un nouvel anticapitalisme

Eddy Fougier, avril 2016, 29 pages

Régionales (2) : les partis, contestés mais pas concurrencés

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, mars 2016, 39 pages

Régionales (1) : vote FN et attentats

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, mars 2016, 45 pages

Un droit pour l'innovation et la croissance

Sophie Vermeille, Mathieu Kohmann et Mathieu Luinaud, février 2016, 38 pages

Le lobbying : outil démocratique

Anthony Escurat, février 2016, 32 pages

Valeurs d'islam

Dominique Reynié (dir.), préface par le cheikh Khaled Bentounès, PUF, janvier 2016, 432 pages

Chiites et sunnites : paix impossible ?

Mathieu Terrier, janvier 2016, 29 pages

Projet d'entreprise : renouveler le capitalisme

Daniel Hurstel, décembre 2015, 29 pages

Le mutualisme : répondre aux défis assurantiels

Arnaud Chneiweiss et Stéphane Tisserand, novembre 2015, 32 pages

L'opinion européenne en 2015

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, novembre 2015, 140 pages

La noopolitique : le pouvoir de la connaissance

Idriss J. Aberkane, novembre 2015, 40 pages

Innovation politique 2015

Fondation pour l'innovation politique, PUF, octobre 2015, 576 pages

Good COP21, Bad COP21 (2) : une réflexion à contre-courant

Albert Bressand, octobre 2015, 35 pages

Good COP21, Bad COP21 (1) : le Kant européen et le Machiavel chinois

Albert Bressand, octobre 2015, 34 pages

PME : nouveaux modes de financement

Mohamed Abdesslam et Benjamin Le Pendeven, octobre 2015, 30 pages

Vive l'automobilisme ! (2). Pourquoi il faut défendre la route

Mathieu Flonneau et Jean-Pierre Orfeuill, octobre 2015, 32 pages

Vive l'automobilisme ! (1). Les conditions d'une mobilité conviviale

Mathieu Flonneau et Jean-Pierre Orfeuill, octobre 2015, 27 pages

Crise de la conscience arabo-musulmane

Malik Bezouh, septembre 2015, 25 pages

Départementales de mars 2015 (3) : le second tour

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, août 2015, 41 pages

Départementales de mars 2015 (2) : le premier tour

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, août 2015, 43 pages

Départementales de mars 2015 (1) : le contexte

Jérôme Fourquet et Sylvain Manternach, août 2015, 30 pages

Enseignement supérieur : les limites de la « mastérisation »

Julien Gonzalez, juillet 2015, 33 pages

Politique économique : l'enjeu franco-allemand

Wolfgang Glomb et Henry d'Arcole, juin 2015, 22 pages

Les lois de la primaire. Celles d'hier, celles de demain

François Bazin, juin 2015, 35 pages

Économie de la connaissance

Idriss J. Aberkane, mai 2015, 40 pages

Lutter contre les vols et cambriolages : une approche économique

Emmanuel Combe et Sébastien Daziano, mai 2015, 44 pages

Unir pour agir : un programme pour la croissance

Alain Madelin, mai 2015, 42 pages

Nouvelle entreprise et valeur humaine

Francis Mer, avril 2015, 21 pages

Les transports et le financement de la mobilité

Yves Crozet, avril 2015, 23 pages

Numérique et mobilité : impacts et synergies

Jean Coldefy, avril 2015, 24 pages

Islam et démocratie : face à la modernité

Mohamed Beddy Ebnou, mars 2015, 27 pages

Islam et démocratie : les fondements

Aḥmad Al-Raysuni, mars 2015, 27 pages

Les femmes et l'islam : une vision réformiste

Asma Lamrabet, mars 2015, 36 pages

Éducation et islam

Mustapha Cherif, mars 2015, 34 pages

Que nous disent les élections législatives partielles depuis 2012 ?

Dominique Reynié, février 2015, 4 pages

L'islam et les valeurs de la République

Saad Khiari, février 2015, 34 pages

Islam et contrat social

Philippe Moulinet, février 2015, 29 pages

Le soufisme : spiritualité et citoyenneté

Bariza Khiari, février 2015, 46 pages

L'humanisme et l'humanité en islam

Ahmed Bouyerdene, février 2015, 46 pages

Éradiquer l'hépatite C en France : quelles stratégies publiques ?

Nicolas Bouzou et Christophe Marques, janvier 2015, 32 pages

Coran, clés de lecture

Tareq Oubrou, janvier 2015, 32 pages

Le pluralisme religieux en islam, ou la conscience de l'altérité

Éric Geoffroy, janvier 2015, 28 pages

Mémoires à venir

Dominique Reynié, janvier 2015, enquête réalisée en partenariat avec la Fondation pour la Mémoire de la Shoah, 156 pages

La classe moyenne américaine en voie d'effritement

Julien Damon, décembre 2014, 31 pages

Pour une complémentaire éducation : l'école des classes moyennes

Erwan Le Noan et Dominique Reynié, novembre 2014, 48 pages

L'antisémitisme dans l'opinion publique française. Nouveaux éclairages

Dominique Reynié, novembre 2014, 44 pages

La politique de concurrence : un atout pour notre industrie

Emmanuel Combe, novembre 2014, 42 pages

Européennes 2014 (2) : poussée du FN, recul de l'UMP et vote breton

Jérôme Fourquet, octobre 2014, 44 pages

Européennes 2014 (1) : la gauche en miettes

Jérôme Fourquet, octobre 2014, 30 pages

Innovation politique 2014

Fondation pour l'innovation politique, PUF, octobre 2014, 554 pages

Énergie-climat : pour une politique efficace

Albert Bressand, septembre 2014, 47 pages

L'urbanisation du monde. Une chance pour la France

Laurence Daziano, juillet 2014, 34 pages

Que peut-on demander à la politique monétaire ?

Pascal Salin, mai 2014, 38 pages

Le changement, c'est tout le temps ! 1514 - 2014

Suzanne Baverez et Jean Sènié, mai 2014, 48 pages

Trop d'émigrés ? Regards sur ceux qui partent de France

Julien Gonzalez, mai 2014, 48 pages

L'opinion européenne en 2014

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, avril 2014, 284 pages

Taxer mieux, gagner plus

Robin Rivaton, avril 2014, 52 pages

L'État innovant (2) : diversifier la haute administration

Kevin Brookes et Benjamin Le Pendeven, mars 2014, 35 pages

L'État innovant (1) : renforcer les think tanks

Kevin Brookes et Benjamin Le Pendeven, mars 2014, 43 pages

Pour un new deal fiscal

Gianmarco Monsellato, mars 2014, 8 pages

Faire cesser la mendicité avec enfants

Julien Damon, mars 2014, 35 pages

Le low cost, une révolution économique et démocratique

Emmanuel Combe, février 2014, 52 pages

Un accès équitable aux thérapies contre le cancer

Nicolas Bouzou, février 2014, 52 pages

Réformer le statut des enseignants

Luc Chatel, janvier 2014, 7 pages

Un outil de finance sociale : les social impact bonds

Yan de Kerorguen, décembre 2013, 27 pages

Pour la croissance, la débureaucratization par la confiance

Pierre Pezziardi, Serge Soudoplatoff et Xavier Quérat-Hément, novembre 2013, 37 pages

Les valeurs des Franciliens

Guénaëlle Gault, octobre 2013, 22 pages

Sortir d'une grève étudiante : le cas du Québec

Jean-Patrick Brady et Stéphane Paquin, octobre 2013, 31 pages

Un contrat de travail unique avec indemnités de départ intégrées

Charles Beigbeder, juillet 2013, 5 pages

L'opinion européenne en 2013

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, juillet 2013, 268 pages

La nouvelle vague des émergents : Bangladesh, Éthiopie, Nigeria, Indonésie, Vietnam, Mexique

Laurence Daziano, juillet 2013, 29 pages

Transition énergétique européenne : bonnes intentions et mauvais calculs

Albert Bressand, juillet 2013, 33 pages

La démobilité : travailler, vivre autrement

Julien Damon, juin 2013, 35 pages

Le Kapital. Pour rebâtir l'industrie

Christian Saint-Étienne et Robin Rivaton, avril 2013, 32 pages

Code éthique de la vie politique et des responsables publics en France

Les Arvernes, Fondation pour l'innovation politique, avril 2013, 12 pages

Les classes moyennes dans les pays émergents

Julien Damon, avril 2013, 26 pages

Innovation politique 2013

Fondation pour l'innovation politique, PUF, janvier 2013, 652 pages

Relancer notre industrie par les robots (2) : les stratégies

Robin Rivaton, décembre 2012, 30 pages

Relancer notre industrie par les robots (1) : les enjeux

Robin Rivaton, décembre 2012, 40 pages

La compétitivité passe aussi par la fiscalité

Aldo Cardoso, Michel Didier, Bertrand Jacquillat, Dominique Reynié et Grégoire Sentilhes, décembre 2012, 20 pages

Une autre politique monétaire pour résoudre la crise

Nicolas Goetzmann, décembre 2012, 28 pages

La nouvelle politique fiscale rend-elle l'ISF inconstitutionnel ?

Aldo Cardoso, novembre 2012, 5 pages

Fiscalité : pourquoi et comment un pays sans riches est un pays pauvre...

Bertrand Jacquillat, octobre 2012, 30 pages

Youth and Sustainable Development

Fondapol/Nomadéis/United Nations, juin 2012, 80 pages

La philanthropie. Des entrepreneurs de solidarité

Francis Charhon, mai / juin 2012, 34 pages

Les chiffres de la pauvreté : le sens de la mesure

Julien Damon, mai 2012, 30 pages

Libérer le financement de l'économie

Robin Rivaton, avril 2012, 40 pages

L'épargne au service du logement social

Julie Merle, avril 2012, 32 pages

L'opinion européenne en 2012

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, mars 2012, 210 pages

Valeurs partagées

Dominique Reynié (dir.), PUF, mars 2012, 362 pages

Les droites en Europe

Dominique Reynié (dir.), PUF, février 2012, 552 pages

Innovation politique 2012

Fondation pour l'innovation politique, PUF, janvier 2012, 648 pages

L'école de la liberté : initiative, autonomie et responsabilité

Charles Feuillerade, janvier 2012, 27 pages

Politique énergétique française (2) : les stratégies

Rémy Prud'homme, janvier 2012, 31 pages

Politique énergétique française (1) : les enjeux

Rémy Prud'homme, janvier 2012, 36 pages

Révolution des valeurs et mondialisation

Luc Ferry, janvier 2012, 27 pages

Quel avenir pour la social-démocratie en Europe ?

Sir Stuart Bell, décembre 2011, 32 pages

La régulation professionnelle : des règles non étatiques pour mieux responsabiliser

Jean-Pierre Teyssier, décembre 2011, 34 pages

L'hospitalité : une éthique du soin

Emmanuel Hirsch, décembre 2011, 29 pages

12 idées pour 2012

Fondation pour l'innovation politique, décembre 2011, 110 pages

Les classes moyennes et le logement

Julien Damon, décembre 2011, 40 pages

Réformer la santé : trois propositions

Nicolas Bouzou, novembre 2011, 30 pages

Le nouveau Parlement : la révision du 23 juillet 2008

Jean-Félix de Bujadoux, novembre 2011, 32 pages

La responsabilité

Alain-Gérard Slama, novembre 2011, 32 pages

Le vote des classes moyennes

Élisabeth Dupoirier, novembre 2011, 40 pages

La compétitivité par la qualité

Emmanuel Combe et Jean-Louis Mucchielli, octobre 2011, 32 pages

Les classes moyennes et le crédit

Nicolas Pécourt, octobre 2011, 40 pages

Portrait des classes moyennes

Laure Bonneval, Jérôme Fourquet et Fabienne Gomant, octobre 2011, 36 pages

Morale, éthique, déontologie

Michel Maffesoli, octobre 2011, 33 pages

Sortir du communisme, changer d'époque

Stéphane Courtois (dir.), PUF, octobre 2011, 672 pages

L'énergie nucléaire après Fukushima : incident mineur ou nouvelle donne ?

Malcolm Grimston, septembre 2011, 15 pages

La jeunesse du monde

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, septembre 2011, 132 pages

Pouvoir d'achat : une politique

Emmanuel Combe, septembre 2011, 42 pages

La liberté religieuse

Henri Madelin, septembre 2011, 31 pages

Réduire notre dette publique

Jean-Marc Daniel, septembre 2011, 35 pages

Écologie et libéralisme

Corine Pelluchon, août 2011, 40 pages

Valoriser les monuments historiques : de nouvelles stratégies

Wladimir Mitrofanoff et Christiane Schmuckle-Mollard, juillet 2011, 22 pages

Contester les technosciences : leurs raisons

Eddy Fougier, juillet 2011, 34 pages

Contester les technosciences : leurs réseaux

Sylvain Boulouque, juillet 2011, 28 pages

La fraternité

Paul Thibaud, juin 2011, 26 pages

La transformation numérique au service de la croissance

Jean-Pierre Corniou, juin 2011, 45 pages

L'engagement

Dominique Schnapper, juin 2011, 26 pages

Liberté, Égalité, Fraternité

André Glucksmann, mai 2011, 30 pages

Quelle industrie pour la défense française ?

Guillaume Lagane, mai 2011, 21 pages

La religion dans les affaires : la responsabilité sociale de l'entreprise

Aurélien Acquier, Jean-Pascal Gond et Jacques Igalens, mai 2011, 33 pages

La religion dans les affaires : la finance islamique

Lila Guermas-Sayegh, mai 2011, 28 pages

Où en est la droite ? L'Allemagne

Patrick Moreau, avril 2011, 50 pages

Où en est la droite ? La Slovaquie

Étienne Boisserie, avril 2011, 35 pages

Qui détient la dette publique ?

Guillaume Leroy, avril 2011, 36 pages

Le principe de précaution dans le monde

Nicolas de Sadeleer, mars 2011, 33 pages

Comprendre le Tea Party

Henri Hude, mars 2011, 31 pages

Où en est la droite ? Les Pays-Bas

Niek Pas, mars 2011, 31 pages

Productivité agricole et qualité des eaux

Gérard Morice, mars 2011, 36 pages

L'Eau : du volume à la valeur

Jean-Louis Chaussade, mars 2011, 27 pages

Eau : comment traiter les micropolluants ?

Philippe Hartemann, mars 2011, 34 pages

Eau : défis mondiaux, perspectives françaises

Gérard Payen, mars 2011, 56 pages

L'irrigation pour une agriculture durable

Jean-Paul Renoux, mars 2011, 38 pages

Gestion de l'eau : vers de nouveaux modèles

Antoine Frérot, mars 2011, 28 pages

Où en est la droite ? L'Autriche

Patrick Moreau, février 2011, 36 pages

La participation au service de l'emploi et du pouvoir d'achat

Jacques Perche et Antoine Pertinax, février 2011, 28 pages

Le tandem franco-allemand face à la crise de l'euro

Wolfgang Glomb, février 2011, 34 pages

2011, la jeunesse du monde

Dominique Reynié (dir.), janvier 2011, 88 pages

L'opinion européenne en 2011

Dominique Reynié (dir.), Édition Lignes de Repères, janvier 2011, 254 pages

Administration 2.0

Thierry Weibel, janvier 2011, 45 pages

Où en est la droite ? La Bulgarie

Antony Todorov, décembre 2010, 28 pages

Le retour du tirage au sort en politique

Gil Delannoi, décembre 2010, 34 pages

La compétence morale du peuple

Raymond Boudon, novembre 2010, 26 pages

L'Académie au pays du capital

Bernard Belloc et Pierre-François Mourier, PUF, novembre 2010, 222 pages

Pour une nouvelle politique agricole commune

Bernard Bachelier, novembre 2010, 27 pages

Sécurité alimentaire : un enjeu global

Bernard Bachelier, novembre 2010, 27 pages

Les vertus cachées du low cost aérien

Emmanuel Combe, novembre 2010, 36 pages

Innovation politique 2011

Fondation pour l'innovation politique, PUF, novembre 2010, 676 pages

Défense : surmonter l'impasse budgétaire

Guillaume Lagane, octobre 2010, 30 pages

Où en est la droite ? L'Espagne

Joan Marcet, octobre 2010, 34 pages

Les vertus de la concurrence

David Sraer, septembre 2010, 40 pages

Internet, politique et coproduction citoyenne

Robin Berjon, septembre 2010, 28 pages

Où en est la droite ? La Pologne

Dominika Tomaszewska-Mortimer, août 2010, 38 pages

Où en est la droite ? La Suède et le Danemark

Jacob Christensen, juillet 2010, 40 pages

Quel policier dans notre société ?

Mathieu Zagrodzki, juillet 2010, 24 pages

Où en est la droite ? L'Italie

Sofia Ventura, juillet 2010, 32 pages

Crise bancaire, dette publique : une vue allemande

Wolfgang Glomb, juillet 2010, 22 pages

Dette publique, inquiétude publique

Jérôme Fourquet, juin 2010, 28 pages

Une régulation bancaire pour une croissance durable

Nathalie Janson, juin 2010, 30 pages

Quatre propositions pour rénover notre modèle agricole

Pascal Perri, mai 2010, 28 pages

Régionales 2010 : que sont les électeurs devenus ?

Pascal Perrineau, mai 2010, 52 pages

L'opinion européenne en 2010

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, mai 2010, 245 pages

Pays-Bas : la tentation populiste

Christophe de Voogd, mai 2010, 43 pages

Quatre idées pour renforcer le pouvoir d'achat

Pascal Perri, avril 2010, 26 pages

Où en est la droite ? La Grande-Bretagne

David Hanley, avril 2010, 30 pages

Renforcer le rôle économique des régions

Nicolas Bouzou, mars 2010, 28 pages

Réduire la dette grâce à la Constitution

Jacques Delpla, février 2010, 54 pages

Stratégie pour une réduction de la dette publique française

Nicolas Bouzou, février 2010, 30 pages

Iran : une révolution civile ?

Nader Vahabi, novembre 2009, 16 pages

Où va la politique de l'église catholique ? D'une querelle du libéralisme à l'autre

Émile Perreau-Saussine, octobre 2009, 26 pages

Agir pour la croissance verte

Valéry Morron et Déborah Sanchez, octobre 2009, 8 pages

L'économie allemande à la veille des législatives de 2009

Nicolas Bouzou et Jérôme Duval-Hamel, septembre 2009, 7 pages

Élections européennes 2009 : analyse des résultats en Europe et en France

Corinne Deloy, Dominique Reynié et Pascal Perrineau, septembre 2009, 50 pages

Retour sur l'alliance soviéto-nazie, 70 ans après

Stéphane Courtois, juillet 2009, 16 pages

L'État administratif et le libéralisme. Une histoire française

Lucien Jaume, juin 2009, 26 pages

La politique européenne de développement : une réponse à la crise de la mondialisation ?

Jean-Michel Debrat, juin 2009, 30 pages

**La protestation contre la réforme du statut des enseignants-chercheurs :
défense du statut, illustration du statu quo**

Suivi d'une discussion entre l'auteur et Bruno Bensasson David Bonneau, mai 2009, 40 pages

La lutte contre les discriminations liées à l'âge en matière d'emploi

Élise Muir (dir.), mai 2009, 65 pages

Quatre propositions pour que l'Europe ne tombe pas dans le protectionnisme

Nicolas Bouzou, mars 2009, 12 pages

Après le 29 janvier : la fonction publique contre la société civile ?

Une question de justice sociale et un problème démocratique

Dominique Reynié, mars 2009, 22 pages

La réforme de l'enseignement supérieur en Australie

Zoe McKenzie, mars 2009, 74 pages

Les réformes face au conflit social

Dominique Reynié, janvier 2009, 14 pages

L'opinion européenne en 2009

Dominique Reynié (dir.), Éditions Lignes de Repères, mars 2009, 237 pages

Travailler le dimanche : qu'en pensent ceux qui travaillent le dimanche ?

Sondage, analyse, éléments pour le débat

Dominique Reynié, janvier 2009, 18 pages

Stratégie européenne pour la croissance verte

Elvire Fabry et Damien Tresallet (dir.), novembre 2008, 125 pages

**Défense, immigration, énergie : regards croisés franco-allemands
sur trois priorités de la présidence française de l'UE**

Elvire Fabry, octobre 2008, 35 pages

SOUTENEZ LA FONDATION POUR L'INNOVATION POLITIQUE !

Pour renforcer son indépendance et conduire sa mission d'utilité publique, la Fondation pour l'innovation politique, institution de la société civile, a besoin du soutien des entreprises et des particuliers. Ils sont invités à participer chaque année à la convention générale qui définit ses orientations. La Fondation pour l'innovation politique les convie régulièrement à rencontrer ses équipes et ses conseillers, à discuter en avant-première de ses travaux, à participer à ses manifestations.

Reconnue d'utilité publique par décret en date du 14 avril 2004, la Fondation pour l'innovation politique peut recevoir des dons et des legs des particuliers et des entreprises.

Vous êtes une entreprise, un organisme, une association

Avantage fiscal : votre entreprise bénéficie d'une réduction d'impôt de 60 % à imputer directement sur l'IS (ou le cas échéant sur l'IR), dans la limite de 5% du chiffre d'affaires HT (report possible durant 5 ans) (art. 238 bis du CGI).

Dans le cas d'un don de 20 000 €, vous pourrez déduire 12 000 € d'impôt, votre contribution aura réellement coûté 8 000 € à votre entreprise.

Vous êtes un particulier

Avantages fiscaux : au titre de l'IR, vous bénéficiez d'une réduction d'impôt de 66 % de vos versements, dans la limite de 20 % du revenu imposable (report possible durant 5 ans) ; au titre de l'IFI, vous bénéficiez d'une réduction d'impôt de 75 % de vos dons versés, dans la limite de 50 000 €.

Dans le cas d'un don de 1 000 €, vous pourrez déduire 660 € de votre IR ou 750 € de votre IFI. Pour un don de 5 000 €, vous pourrez déduire 3 300 € de votre IR ou 3 750 € de votre IFI.

contact : Anne Flambert + 33 (0)1 47 53 67 09 anne.flambert@fondapol.org

LE Jumeau Numérique en Santé

Par Serge SOUDOPLATOFF

Nous connaissons la version ludique des avatars, ces doubles virtuels de nous-mêmes que nous faisons vivre dans nos jeux préférés. Ne pourrions-nous imaginer que ces doubles deviennent nos jumeaux, non seulement avec les mêmes traits physiques mais aussi avec une physiologie identique ?

Le jumeau numérique existe déjà dans le monde des objets industriels. Il est mis à jour à partir de données en temps réel et peut lui-même exécuter toutes sortes de simulations afin d'étudier des processus divers, incluant maintenant tout ce que les outils de l'intelligence artificielle peuvent apporter.

La grande innovation qu'apporterait le jumeau numérique en santé serait, *a minima*, d'être le support numérique qui permettrait à toutes les parties prenantes de la santé, qu'il s'agisse du personnel hospitalier, des laboratoires de recherche, des aidants à domicile, des systèmes de prise en charge des soins, d'avoir un outil commun pour traiter chaque cas individuel avec un maximum d'efficacité.

Les médias

fondapol.tv

**ANTHROPO
TECHNIE**
LES ENJEUX DE L'HUMAIN AUGMENTÉ



Le site internet

fondapol.org



Les données en open data

data.fondapol.org



978 2 36408 308 0

ISBN : 978-2-36408-308-0

5 €