



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



COMITÉ de la PRÉVENTION
et de la PRÉCAUTION

Comité de la prévention et de la précaution

23 mai 2023

École nationale supérieure de chimie de Paris

Conférence :

« Santé publique et environnement numérique :

Quelles perspectives pour

notre environnement et notre santé ? »

Intervenants :

- Isabella ANNESI-MAESANO, directrice de recherche à l'INSERM et professeur d'épidémiologie environnementale
- Philippe BOUDES, Sociologue, Enseignant Chercheur, Institut Agro Rennes Angers & UMR CNRS Espaces et Société
- Françoise BERTHOUD, CNRS, Groupement de Service EcoInfo
- Cécile CHEVRIER, épidémiologiste, directrice de recherche Inserm à l'Irset - Inserm, Université Rennes 1, EHESP (par visioconférence)
- Jean-Michel COSTES, socio-épidémiologiste, chercheur associé à la chaire de recherche sur le jeu de l'Université Concordia à Montréal
- Sébastien DEMAY, juriste en droit privé, spécialiste de la charge de travail associée au numérique
- Gayo DIALLO, Professeur d'informatique et Santé, Université de Bordeaux (par visioconférence)
- Emmanuel DIDIER, sociologue, membre du CCNE et rapporteur de l'avis 141 sur IA et diagnostics médicaux
- Maxime EFOUI-HESS, The Shift Project
- Bruno FRACHON, Ingénieur hydrographe
- Patrick GAUDRAY, Directeur de Recherche retraité du CNRS, virologue moléculaire et généticien, spécialiste de l'éthique
- André-Jean GUÉRIN, Académie d'Agriculture de France
- Alain GRIMFELD, Pédiatre, Professeur honoraire de Sorbonne-Université - Paris, Président d'honneur du CCNE, Président du CPP
- Philippe HUBERT, Directeur de la plateforme PEPPER : Plateforme Public-Privé sur la Pré-validation des méthodes d'essai sur les Perturbateurs EndocRiniens

- Martin RÉMONDET, Service de la recherche et de l'innovation, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
- Bernard SALLES, toxicologue, professeur émérite de l'université de Toulouse
- Diane SIMIU, adjointe au Commissaire Général, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires
- Serge TISSERON, Psychiatre et membre de l'Académie des technologies

Le site du Comité de la prévention et de la précaution :
<https://cpp.alerte-sante-environnement-deontologie.fr/>

Programme de la journée :

I. Introduction générale.....	5
II. Première table ronde : Les objets et usages du numérique : ressources et impacts environnementaux	8
III. Deuxième table ronde : Le numérique au service de la santé ?	20
IV. Troisième table ronde : Santé et exposome numérique	28
V. Quatrième table ronde : Environnement numérique et relations sociales	39
VI. Synthèse et recommandations du CPP	44

I. Introduction générale

Diane SIMIU, Adjointe au Commissaire Général, Commissariat Général au Développement Durable, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

Bonjour à tous, y compris à ceux qui nous suivent à distance. Je suis très honorée d'introduire cette conférence consacrée au thème de la santé publique et de l'environnement numérique. Récemment a eu lieu le lancement, par Agnès Firmin Le Bodo, des travaux du Comité de pilotage de la planification écologique pour le secteur de la santé ; c'est à cette occasion que, pour la première fois, j'ai entendu une ministre chargée de la santé affirmer que, tout en haut de ses priorités environnementales, figuraient d'une part la réduction de l'empreinte environnementale du système de santé et, d'autre part, les conséquences de la dégradation de l'environnement sur la santé.

Or le CPP, créé en 1996, soit voici 27 ans, s'est montré précurseur sur ces thèmes. Une très rapide rétrospective des travaux du CPP le prouve. Il fournit, depuis la date indiquée, une expertise indépendante et pluraliste, en appui aux politiques publiques.

Ce comité remplit plusieurs missions, en fondant de meilleure façon les politiques du ministère en charge de l'Environnement sur les principes de précaution et de prévention, et exerce également une fonction de veille, d'alerte et d'expertise pour les problèmes de santé et les perturbations de l'environnement ; enfin, il fait le lien entre les actions de recherche et de connaissance scientifique et la décision publique ainsi que l'action gouvernementale.

Il est composé d'une vingtaine de personnalités scientifiques reconnues pour leurs compétences dans les domaines les plus divers de l'environnement et de la santé, depuis les sciences dures jusqu'au droit et la sociologie, en passant par l'éthique, permettant d'illustrer un travail de réflexion vraiment interdisciplinaire et de liaison active entre la recherche et la société civile.

Ce travail a conduit à la publication de 23 rapports à ce jour, certains d'entre eux particulièrement novateurs et ayant favorisé l'émergence de nouveaux sujets, par exemple : un rapport sur la dissémination des OGM publié dès 1997 ou, deux ans plus tard, un rapport sur les programmes de recherche en environnement et santé, qui contribuera à renforcer et institutionnaliser les réflexions sur ce thème qui est aujourd'hui au cœur de nombreuses initiatives en matière de santé publique. Ou encore le premier rapport du CPP sur les nanotechnologies, publié en 2006 et complété en 2021 ou, enfin, le rapport consacré aux signaux émergents, aux alertes et à la prise de décision en santé-environnement, paru en 2015, synthétisant et explicitant les dimensions méthodologiques des travaux du Comité.

Ces différents rapports ont accompagné, pendant près de 30 ans, la montée en compétences de l'État et de son administration, en matière de recherche, de prévention et d'atténuation des risques, mais aussi de mise en œuvre du principe de précaution et ont également contribué au développement de son expertise, désormais reconnue largement aux niveaux européen et international.

Le rapport qui est l'objet de cette conférence présente une résonance particulière avec ceux que nous conduisons sur le numérique responsable au sein du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, notamment pour ce qui regarde la problématique de l'environnement numérique et de l'écologie.

L'impact sociétal du numérique fait l'objet d'une prise de conscience sociétale forte, au cœur des mesures proposées par la Convention citoyenne pour le climat ayant entraîné des réponses politiques, afin de mieux connaître l'impact environnemental du numérique, agir pour un numérique plus sobre et plus réfléchi, tout en l'utilisant comme levier de la transition écologique et de la santé.

Ainsi, en 2020, l'impact du numérique représentait 2,5 % de l'empreinte carbone annuelle de la France, 10 % de la consommation électrique, 25 % de l'épuisement des ressources halieutiques naturelles et, si rien n'est fait, une augmentation des gaz à effet de serre provoqués par le numérique de plus de 60 % d'ici 2040 !

Face à de tels enjeux, le Gouvernement n'est pas resté sans agir. Plusieurs lois et plans ont été consacrés à ce sujet : des articles de la loi anti-gaspillage et économie circulaire datant de février 2020 concernent par exemple l'allongement de la durée de vie des équipements numériques, représentant trois-quarts des impacts ainsi qu'une meilleure information des consommateurs.

Un dispositif stratégique a été publié en février 2020, à savoir la feuille de route gouvernementale « numérique et environnement » ayant formalisé un certain nombre de propositions formulées par la Convention citoyenne pour le climat, en faveur de la sobriété numérique.

En novembre 2021, une loi a été promulguée, entièrement dédiée à la réduction de l'empreinte environnementale du numérique. Ces actions se structurent sous le pilotage du Haut comité pour le numérique écoresponsable, fer de lance de la planification écologique sur le sujet.

Au-delà cependant de son impact environnemental, le numérique peut aussi être un outil au service de la transition écologique ; c'est à ce titre que le Commissariat général au développement durable (ou CGDD) travaille à impulser des projets et tester des concepts, pour que le numérique soit un outil d'action pour la santé publique, dans son croisement avec la santé des écosystèmes.

Le projet intitulé *Green Data For Health*¹ en est un des meilleurs exemples récents. Il s'agit d'une des actions phares du PNSE 4, au pilotage duquel le CGDD, avec d'autres ministères, de la Recherche, de la Santé et de l'Agriculture. Ce projet est une offre de services à destination des chercheurs et experts en santé-environnement, qui regroupe un catalogue de données en ligne, des outils d'aide juridique et, surtout, l'animation de la communauté de la donnée en santé-environnement, pilotée par une instance regroupant des administrations, des organismes publics de recherche et d'expertise, notamment la Direction générale de la prévention des risques (ou DGPR), la Direction générale de la santé ou encore Santé publique France. Son objectif est d'apporter une meilleure compréhension de l'impact des facteurs environnementaux sur la santé et de stimuler la recherche en santé-environnement.

¹ Voir : <https://gd4h.ecologie.gouv.fr/>

Les travaux du CPP dans ce rapport interpellent sur le lien entre numérique et santé, et rappellent avec acuité l'importance de progresser dans une approche élargie et d'insérer la santé dans une vision globale, qu'il s'agisse de la santé humaine, de la santé animale ou de la santé des écosystèmes.

Je voudrais très sincèrement vous remercier pour cette rencontre et la pertinence de ces croisements, mais aussi remercier tous les contributeurs de ce rapport éclairant. J'aimerais notamment saluer mon collègue Martin Rémondet qui a largement œuvré pour faire paraître ce rapport.

Merci à vous. Je vous souhaite une très bonne journée.

Applaudissements.

Martin RÉMONDET

Le CPP a publié voici un peu plus d'un an un rapport sur la question de l'environnement numérique et de la santé publique, à savoir l'ensemble des liens entre la fabrication et la totalité (ou presque !) des usages du numérique, avec notre santé et notre environnement.

La première table ronde va porter sur la question des impacts environnementaux des technologies du numérique, ainsi que sur la problématique de leur consommation énergétique. Elle sera, comme les trois autres tables rondes, suivie d'un temps d'échanges.

II. Première table ronde : Les objets et usages du numérique : ressources et impacts environnementaux

Introduction

André-Jean GUÉRIN, Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France (AAF)

Le premier chapitre du rapport du Comité porte sur les relations entre le développement du numérique et les incidences en matière environnementale. Maxime Efoui-Hess, du Shift Project² va évoquer les aspects environnementaux et écologiques du développement du numérique. Françoise Berthoud, ingénieure au sein du CNRS, va nous présenter l'utilisation, dans le numérique, d'un certain nombre de ressources minérales, posant divers problèmes, à la fois de criticité en termes de quantités disponibles, mais aussi de pollutions, en amont, au moment de l'exploitation, et en aval, lorsqu'il s'agit de déconstruire les appareils du numérique. Enfin, Bruno Frachon, membre du CPP, va nous alerter sur les risques possibles au cas où nous parviendrions à diversifier la recherche minière de matériaux rares dans les grands fonds marins.

Il convient de procéder auparavant à quelques rappels : les nouvelles technologies de l'information et de la communication, autrement dit le numérique, recouvrent, de façon large, l'ensemble des appareils du numérique (ordinateurs, tablettes, téléphones mobiles, etc.) mais aussi les appareils audiovisuels comme les télévisions. Le numérique comprend également les structures de réseaux (câbles, fibres optiques, mais aussi réseaux satellitaires) ou encore les centres de stockage de données et, de plus en plus, les capteurs/actionneurs connectés.

L'économie numérique pèse 15,5 % du PIB mondial et elle a cru 2,5 fois plus vite que ce dernier au cours des 15 dernières années, ce qui ne peut que poser une question de croissance. En France, le secteur du numérique a représenté, pour l'année 2022, entre 7,1 %, et 7,4 % du PIB, les dernières vérifications sont en cours. Initialement, la taille du marché numérique avait été évaluée à 56,3 milliards d'euros, mais elle a été réévaluée à 60,8 milliards d'euros pour cette même année 2022. La Banque mondiale³ affirme que les technologies numériques, en tant que « fers de lance du développement », « offrent aux pays des perspectives uniques pour attirer de la croissance économique et connecter leurs habitants aux services et aux emplois ». Il est également affirmé que : « Lors d'une crise (catastrophes naturelles ou pandémies, comme la COVID-19), elles sont le fil qui permet aux populations, aux pouvoirs publics et aux entreprises de rester reliés. Face à des enjeux de développement complexes, elles peuvent libérer l'innovation et permettre aux pays de s'affranchir du processus de développement traditionnel et sauter des étapes en exploitant les mutations apportées par les services bancaires virtuels, les *blockchains* ou encore la télémédecine... » : nous reviendrons sur ces points de discussion, pour le moins importants, qui ont traversé les réflexions du CPP.

² Le CPP avait initialement auditionné pour le Shift Project M. Hugues Ferreboeuf ; l'ensemble des membres du Comité tiennent à le remercier pour son intervention et sa contribution aux travaux.

³ Voir : <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/digitaldevelopment/overview>

Les intervenants soulignent à la nécessité de soutenir le développement et le déploiement des préoccupations environnementales dans l'économie numérique. Marginale voici quelques années encore, la protection de l'environnement est progressivement devenue un sujet central de préoccupation pour nos sociétés. Le concept de développement qui a émergé lors de la Seconde Guerre mondiale a évolué vers celui de développement durable qui a été institué à l'échelle internationale par le sommet de Rio notamment, en 1992.

Il n'y a pas de doute quant à la réalité selon laquelle le numérique permet de d'œuvrer en faveur de l'environnement : par ex. en rendant plus effectives les conventions de Rio visant à informer tous les publics de la réalité de la situation environnementale ; dans notre pays, les données et statistiques sont une pierre angulaire de la politique environnementale : le service des statistiques du ministère chargé de l'Environnement est le troisième de France, après les services de statistiques respectifs au sein des ministères de l'Économie et de la Santé et des Affaires sociales.

Le numérique permet par ailleurs d'optimiser certains objets techniques ou de consommation courante, comme le montre l'exemple de l'allègement des bouteilles en plastique.

Tous les réseaux sont également optimisés, comme ceux relatifs au transport de l'énergie, en particulier l'électricité, grâce à des modélisations. Les images réalisées par des logiciels permettent d'assurer un suivi des conditions et des situations environnementales avec une maille de résolution de plus en plus fine, et il en est de même pour des projets impliquant les populations, *via* des plateformes de sciences participatives. De fait, le numérique peut effectivement renforcer et protéger l'environnement.

Mais il ne faudrait pas oublier, cependant, que les objets du numérique, ainsi que leur utilisation, consomment beaucoup de ressources et génèrent des impacts variés sur les populations.

Maxime EFOUI-HESS, *The Shift Project*, coordinateur des programmes « Numérique » et « Industrie »⁴

Cet exposé vise à présenter une vision mondiale du numérique, tout en procédant à une focalisation sur la France. L'urgence à nous préoccuper de cette problématique peut être illustrée avec le *triangle des contraintes physiques* : nous avons traité l'ensemble des secteurs, qu'ils se situent en amont ou en aval. Cette synthèse de l'ensemble des secteurs, en amont ou en aval du numérique, permet de matérialiser trois contraintes que sont : la contrainte propre aux énergies fossiles, celle concernant les usages des sols et enfin celle relative aux matériaux. Il s'agit ainsi de trouver, à l'intérieur de ce triangle, où se trouve la zone de sûreté, en tenant compte des trois contraintes décrites, et en réalisant, de fait, des arbitrages. Or, le système numérique est proprement un système physique et il n'y a donc aucune raison qu'il échappe à ce triangle puisqu'il nécessitera des matériaux, de l'espace pour permettre l'implantation de centres de données, mais aussi, bien sûr, des ressources fossiles.

Se pose alors la question de sa pertinence, question propre, du reste, à tous les systèmes : il s'agit alors de sortir du mythe selon lequel le numérique est ou serait bon pour l'environnement puisqu'il est censé procéder à une dématérialisation. Le numérique, bien au contraire, ne dématérialise rien et ne fait que reporter certains usages sur d'autres : une visioconférence ne dématérialise aucunement une réunion, puisqu'elle reporte le fait de pouvoir échanger de l'information avec nos bouches et nos oreilles depuis l'infrastructure physique (un déplacement vers une salle) vers une

⁴ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

autre structure physique, celle-ci consistant à dire quelque chose, le faire capter par un micro puis le transmettre vers l'ordinateur d'une autre personne se trouvant elle-même dans une autre salle. De la même manière, une carte des câbles sous-marins traversant les océans de la planète et alimentant Internet montrerait qu'une telle infrastructure constitue la structure physique la plus massive jamais construite par l'humanité. La vraie question est donc bien davantage : est-ce que le fait de passer par l'infrastructure numérique permet d'économiser des ressources, de l'énergie, par rapport à une autre structure physique ?

C'est donc bien une problématique de *balance* qui est posée, et non une question de « baguette magique » ... ce qui permet de considérer la question en termes de politiques publiques ! Le coût environnemental pour produire et faire fonctionner de tels équipements ne contrebalance-t-il pas les gains environnementaux proposés ? Nous avons systématiquement analysé des cycles de vie pour quantifier les impacts nécessaires pour produire et déployer un tel système et voir, en guise de bilan comptable, si nous pouvons envisager une économie d'énergie ou de matériaux, voire un meilleur bilan carbone, à moins qu'il ne faille admettre une augmentation de la facture, mais contrebalancée par une pertinence sociétale (plus de confort et de sécurité pour de nombreuses activités). Il s'agit donc, ni plus, ni moins, d'établir une logique budgétaire que tout le monde comprendra.

La phase de production d'un téléphone portable, allant de l'extraction des matériaux nécessaires pour le fabriquer jusqu'à son utilisation proprement dite, représente 90 % en termes de production de carbone, la phase d'utilisation ne représentant, elle, que 10 %. Tout nouveau matériel produit, pour faire simple, émet donc beaucoup de carbone, ce qui ne peut donc que contribuer à augmenter la facture du numérique, et cela alors même que les nouveaux services sont basés sur des capacités supérieures des équipements. Ces chiffres ne concernent pas l'utilisation des réseaux : or, un téléphone portable sera connecté à ces derniers, induisant des émissions indirectes supplémentaires qui ne sont pas négligeables.

Au niveau mondial, la part du numérique dans les émissions de gaz à effet de serre s'élève de 3 à 4 %, une proportion supérieure à celle du transport par voie aérienne. En termes de dynamique, la progression se chiffre à 6 % par an, alors que l'objectif, parallèlement, est de réduire de 5 % par an ces émissions. Cette croissance élevée est difficile à gérer : si nous ne mettons pas en place des politiques de sobriété, ce pourcentage continuera d'augmenter rapidement.

Nous avons essayé de voir de quelle manière il serait possible de casser une telle dynamique, en tenant compte de deux principales variables que sont l'évolution des volumes de données et le nombre d'équipements produits. La phase de production et celle d'utilisation se répartissent à 60 / 40 %, contre 90 / 10 % pour les terminaux comme nous l'avions précédemment indiqué, les premiers chiffres s'expliquant par le fait qu'Internet fonctionne en permanence, ce qui ne peut que consommer beaucoup d'électricité – du reste pas spécialement décarbonée – dans le monde entier. Cela ne veut pas dire que la phase de production serait négligeable, mais que les deux phases doivent être prises en compte : il faut limiter, dans la phase de production, le coût environnemental des objets, augmenter leur durée de vie ou réduire le nombre des composants utilisés et, concernant la phase d'utilisation, être particulièrement attentif aux logiques de déploiement.

Les terminaux d'utilisateurs représentent les trois-quarts de l'impact carbone du numérique dans le monde, ce qui est logique, puisque l'on n'utilise Internet qu'avec des interfaces. C'est cette dynamique de développement de certains usages qu'il est important de comprendre, puisqu'elle-même va alimenter une dynamique de déploiement des structures : ainsi, le fait d'être capable de produire des contenus vidéo pouvant être regardés dans le métro va augmenter l'utilisation des réseaux, ce qui justifiera, au moment de leur renouvellement, le déploiement d'un réseau disposant de plus de capacités, et qui offrira à son tour de nouvelles possibilités.

Le numérique français n'échappe pas à cette dynamique-là ; ainsi, un seul scénario du rapport ADEME permettrait d'ici 2030 de réduire les émissions de GES du numérique. Il n'est pas étonnant que ce scénario, dit ADEME-Arcep, propose la sobriété : systématiquement, le fait de prôner de l'écoconception modérée rendra moins consommateur un service unitaire, qui sera, du coup, plus utilisé. Cet effet rebond est classique et s'observe depuis toujours, le numérique ne fait absolument pas exception à la règle. Cela signifie donc que, sans mise en place de la sobriété, soit la meilleure façon de s'intéresser aux usages, il n'y a pas de gestion de l'impact du numérique. Il faut donc changer la logique consistant à déployer des réseaux basés sur des projections des usages tablant sur une augmentation de l'utilisation des données ; si on ne change pas cette logique, il n'y a en effet aucune raison pour que l'impact soit réduit. L'objectif recommandé par *The Shift Project*, s'appuyant sur le scénario ADEME-Arcep, table sur une réduction de 30 % en 2030 pour la France, par le biais de la décarbonation de l'électricité, un levier parmi d'autres pour atteindre cette visée.

Les dynamiques d'évolution de la consommation électrique du numérique en France montrent une augmentation de 50 TWh en 2020 à 55 (soit +7%) voire 65 TWh suivant les scénarios retenus en 2030. | Les centres de données ont une consommation électrique qui augmente, et cela malgré ce que l'on nous répète depuis des dizaines d'années. Ainsi, l'ADEME-Arcep prévoit une hausse de 30 % de la consommation de ces centres de données à l'horizon 2030, en raison de l'effet rebond évoqué un peu plus tôt. Ces estimations sont supérieures de 20 à 30 TWh à celles indiquées par RTE, alors que le plan de transformation de l'économie française nécessiterait 15 TWh supplémentaires pour créer une filière d'engrais décarbonés. Autant dire que le numérique est tout ce que l'on voudra *sauf* un sujet secondaire puisqu'il fait bien au contraire partie intégrante des usages absolument essentiels pour la société contemporaine.

La question de savoir si le numérique permet la transition écologique n'est pas, à mon sens, spécialement intéressante, car celui-ci est un accélérateur des dynamiques mises en place ; s'il sert à accentuer les dynamiques vertueuses, force est de constater qu'il sert aussi à accélérer les dynamiques qui ne le sont pas. Les questions centrales sont donc plutôt : Comment transformer le système ? Quelles limites assigner aux émissions de carbone de ce système ? Il faut à l'évidence fixer des limites, mettre en place de la sobriété pour réussir à insérer ce système sur la bonne trajectoire, ce qui n'a pas été le cas depuis qu'on l'étudie, et ce qui ne sera bien sûr pas le cas si rien n'est fait.

Applaudissements.

André-Jean GUÉRIN

Merci de nous avoir rappelé que le numérique, qui peut apparaître comme une dématérialisation de l'économie, n'a rien à voir avec celle-ci, mais relève davantage d'une *délocalisation de la matérialité*, | Ce sont notamment les impacts de cette matérialité qui vont maintenant vous être présentés par Françoise Berthoud.

Françoise BERTHOUD, CNRS, Groupement de Service ÉcoInfo⁵

Merci, Maxime, pour cette très belle présentation. Je travaille au CNRS depuis une trentaine d'années, en réfléchissant depuis 2006 à la question des impacts environnementaux du numérique. Cela fait longtemps que j'évoque ces sujets, et je ne puis que constater qu'ils n'évoluent pas tant que cela. Autant vous dire que je suis très inquiète, non seulement de voir où nous en sommes quant aux perspectives de réchauffement climatique, en lien avec les politiques publiques promues au niveau mondial, mais aussi quand je continue d'entendre que le numérique sera forcément un allié de la transition écologique ; or, il n'y a aujourd'hui pas l'ombre d'un soupçon de preuve que cela fonctionne !

Je rappelle que nous avons d'ores et déjà atteint voire dépassé, du fait de nos activités, un certain nombre de limites planétaires, certaines d'entre elles ayant un rapport direct avec le numérique : il ne s'agit donc pas d'évoquer simplement le changement climatique mais aussi l'effondrement de la biodiversité, le changement d'usage des sols, sans oublier des pollutions du fait de l'introduction de nouvelles entités dans l'environnement, et enfin la question de l'eau douce.

Les déchets issus des équipements électriques et électroniques, regroupant les équipements numériques, sont très mal recyclés, moins de 20 % d'entre eux vont dans une filière réglementée ; et nous sommes encore loin de parvenir à tout récupérer dans des conditions environnementales correctes. On pourrait se dire que la France fait mieux que le reste du monde ; mais, ce sont moins de 50 % de collecte qui sont réalisés dans la bonne filière, ce qui signifie que plus que 50 % des déchets ne partent pas dans une filière réglementée ; 1 kg, par habitant et par an va dans la poubelle ménagère.

Ces équipements-là contiennent des métaux lourds et des substances chimiques qui sont dangereuses pour le vivant ; par le biais de traitements qui ne sont pas réalisés dans l'état de l'art, ils iront alors polluer les sols, les eaux souterraines et l'air, pollutions qui se propageront dans les chaînes alimentaires, ce qui ne pourra qu'impacter la biodiversité et la santé humaine. Et je n'évoque pas les conditions de vie indignes des personnes qui, de par le monde, vivent dans les lieux où sont entreposées des tonnes de ces déchets électroniques...

Le problème de la dispersion des métaux est posé, en sachant qu'un grand nombre d'entre eux ne sont pas recyclés ; nous sommes encore dans une économie en croissance matérielle, qui implique une augmentation de la demande en métaux, le cuivre enregistrant ainsi une demande en hausse annuelle de 3 %, et cela depuis le début des années 1900. Or, ces métaux ne sont pas distribués de façon homogène dans la croûte terrestre : au fur et à mesure que nous avançons dans le temps, nous ne faisons que découvrir des mines de moins en moins concentrées. Cependant, même si la concentration de ces métaux a diminué, nous avons jusqu'à maintenant réussi, en raison des progrès technologiques, à baisser l'énergie nécessaire pour extraire 1 kg de cuivre, mais il faut tout de suite affirmer que nous sommes quoi qu'il en soit en train d'arriver à la limite thermodynamique, qui est

⁵ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

une limite physique : cela signifie que nous allons être contraints d'exploser la quantité d'énergie nécessaire pour collecter une même quantité de cuivre.

Cela signifie aussi que les ressources en métaux, pour certaines, vont devenir critiques, et poser des problèmes de choix et de stratégies, un certain nombre de ces métaux pouvant être utilisés pour les énergies renouvelables comme pour le numérique.

La problématique concerne donc non seulement les besoins accrus en énergie, les tensions géopolitiques et l'apparition de conflits armés, les besoins en eau douce - comme le montre en France l'exemple de la ville de Grenoble. Ajoutons à ces questions des pollutions des sols, de l'eau et une propagation dans la chaîne alimentaire de produits chimiques et de métaux lourds. Les impacts sur la biodiversité et la santé humaine, sont prégnants, et les conditions de vie indignes, je le répète, pour les personnes, hommes mais aussi femmes et enfants, travaillant dans les filières.

Vous le savez, certaines substances utilisées dans les objets électroniques sont des perturbateurs endocriniens, comme les retardateurs de flamme bromés, les composés perfluoroalkylés (ou PFAS) ainsi que les phtalates. Le problème de ces polluants ne concerne pas, qui plus est, la phase de fabrication ou de déconstruction des objets du numérique, mais aussi leur utilisation, surtout lorsqu'ils chauffent. Les perturbateurs endocriniens ont été mis en cause dans la survenue de cancers hormono-dépendants et dans les perturbations de la thyroïde, affectant le développement normal du système nerveux.

J'aimerais insister sur un point particulier : quand on parle de l'impact du numérique, il ne faut surtout pas se contenter de n'évoquer que les objets du numérique eux-mêmes, alors que le numérique est essentiellement utilisé pour « booster » la croissance mais aussi la consommation. Ainsi, il est toujours mis en exergue que le numérique permettrait d'optimiser la production industrielle, mais il faut aussi évoquer des gains en efficacité dans la finance, la logistique ou l'innovation, ainsi que la création d'interfaces comme l'intelligence artificielle permettant de seconder, ou même remplacer, des corps de métiers entiers. Tout cela n'est pas réalisé pour le confort de l'homme mais, en tout premier lieu, pour la croissance, laquelle n'est par définition pas immatérielle ! Le numérique permet donc aujourd'hui, essentiellement, de produire plus de choses qui elles-mêmes polluent davantage !

Ma conclusion pose une question soulevée par Maxime : que voulons-nous faire du numérique ? Souhaitons-nous, ainsi, surmédicaliser les plus riches ? S'agit-il d'optimiser les chaînes de production d'autres biens, de connecter les vaches ou encore de concentrer les pouvoirs et de surveiller les masses ? Je pense, tout comme Maxime, que les objets numériques proposent une technologie véritablement merveilleuse, mais il apparaît absolument scandaleux, d'un point de vue sociétal, qu'ils soient aussi mal utilisés et recyclés. Nous devons réfléchir, ensemble, à ce sujet, car c'est notre responsabilité puisque nous sommes les plus riches et les plus instruits, de nous poser la question des usages du numérique. Il faudrait à mon sens mettre le numérique au service de l'homme et pas uniquement au service de la croissance financière.

André-Jean GUÉRIN

Merci Françoise Berthoud ; vous voyez que même ce que j'avais présenté comme étant positif, y compris sur le plan environnemental, a été de nouveau questionné par le fait que le développement et le déploiement du numérique n'ont rien d'immatériel mais s'appuient sur une exploitation large et croissante des matières premières.

Le rapport du Comité de la précaution et de la prévention contient plusieurs focus, l'un d'entre eux évoquant l'exploitation des minéraux au fond des océans, une question qui va être maintenant exposée par Bruno Frachon, qui nous communiquera également les recommandations établies par le CPP sur les différentes thématiques que nous venons de traiter

Bruno FRACHON, ancien chargé de mission sur les grands fonds marins au ministère des Armées

Les ressources minérales des grands fonds, recouvrant un nombre important des métaux qui sont utilisés dans la phase de fabrication des objets numériques, sont connues depuis plusieurs décennies. Notons un regain d'intérêt pour ces ressources minérales des grands fonds, compte tenu de la croissance de l'utilisation des métaux, mais aussi de la baisse de la concentration des ressources minérales terrestres. En effet, là où on les trouve, les concentrations en métaux dans les grands fonds océaniques peuvent être extrêmement intéressantes du point de vue minier.

Les ressources en métaux critiques ne font actuellement l'objet d'aucune exploitation ; certes, il y a beaucoup de prospection et d'exploration, mais pas d'exploitation à proprement parler. Toutefois, en mer, en matière de ressources minérales au sens large, certaines choses sont exploitées depuis des décennies, comme les granulats marins ou encore les hydrocarbures : ce sont ainsi environ 30 % de notre consommation d'hydrocarbures qui proviennent des océans.

Ce sujet propre aux ressources minérales en métaux critiques des grandes profondeurs a fait l'objet d'un certain nombre d'expertises scientifiques durant la dernière décennie, comme par exemple une expertise collective pilotée en 2014 par l'Ifremer et le CNRS et faisant appel à de nombreux experts, afin de déterminer ce que sont ces ressources et l'impact que pourrait avoir leur exploitation.

Que sont ces ressources ? Nous distinguons *trois grands types* de faciès géologiques, avec, pour commencer, les grandes plaines abyssales riches en nodules polymétallique, autrement dit une sorte de pomme de terre composée pratiquement uniquement de métaux. Ces ressources sont connues depuis le dernier quart du 19^e siècle, l'exploration des grands fonds océaniques ayant de fait commencé avec la pose des grands câbles transatlantiques. Ces nodules sont très riches en fer, en manganèse mais aussi en d'autres métaux associés intervenant dans le numérique.

Plus récemment, à partir des années 70, on a remarqué qu'existaient, dans le fond des océans, des *sources hydrothermales*, autant de sites de métallogénèse très active, dans lesquels on retrouve un certain nombre de métaux, principalement du cuivre, du zinc, du plomb, de l'or et de l'argent mais aussi des métaux associés, y compris des terres rares.

Le troisième grand faciès géologique dans lequel on trouve ces métaux sont les *encroûtements cobaltifères*, très riches, comme leur nom l'indique, en cobalt qui est un métal vraiment très important pour la transition écologique puisqu'il est utilisé dans les batteries. On trouve ces encroûtements dans les monts sous-marins, entre -400 et -4 000 mètres de profondeur.

Les problématiques posées par leur exploitation éventuelle, en ne tenant compte que des impacts environnementaux, résident dans le fait que l'on a supposé, pendant très longtemps, que la vie dans les grandes profondeurs sous-marines était quasiment inexistante. Or, depuis la fin du siècle dernier,

on a compris que les grands fonds hébergeaient des biocénoses qui sont très largement méconnues mais aussi très spécifiques, y compris avec des formes de vie et des mécanismes biochimiques qui n'existent nulle part ailleurs. Ainsi, les plaines abyssales sont des milieux sédimentaires très profonds, dans lesquels se développent un certain nombre d'organismes invertébrés ainsi que des micro-organismes en très grand nombre, avec des densités et des diversités qui peuvent être, localement, vraiment très élevées. Quant aux sources hydrothermales, on peut constater une très grande complexité géochimique, une grande diversité de topographies conduisant à des biocénoses elles-mêmes très hétérogènes et complexes, y compris, comme je l'ai évoqué, avec des modes de vie complètement anaérobies, reposant sur des mécanismes chimiques totalement différents de ce que l'on peut étudier sur terre. Enfin, les encroûtements cobaltifères montrent une très grande variété de possibilités de vie et des biomasses qui peuvent être très importantes, pouvant aller, sur toute la chaîne trophique, jusqu'à des poissons.

L'exploitation de ces ressources minérales serait alors susceptible d'entraîner des impacts importants de deux types, par *effet mécanique*, autrement dit par destruction des milieux, mais aussi par la *remise en suspension de sédiments* ; c'est notamment le cas pour les nodules polymétalliques reposant sur des sédiments très fins, car la remise en suspension de ces derniers, accompagnant quasiment obligatoirement le prélèvement, se traduirait par des créations de panaches sédimentaires pouvant mettre très longtemps à se redéposer et modifieraient alors les conditions physico-chimiques du milieu. Notons aussi que les biocénoses en question sont particulièrement fragiles car elles sont composées de faunes à métabolisme très lent, vu les températures globalement basses entraînant des durées de reconstitution ou de régénération pouvant être très longues.

Abordons à présent le cadre juridique de l'exploitation de ces ressources minérales des grands fonds, lequel se rattache au cadre juridique relatif aux océans ; schématiquement, ce cadre repose sur une convention des Nations Unies distinguant à cet égard deux grandes zones, l'une à *plateau continental juridique*, allant jusqu'à environ 200 miles marins, soit quelque 360 kms des côtes, sous la juridiction des États côtiers concernés. Au-delà de cette limite, nous trouvons la *Zone* ou la *haute mer*, qui, en matière de ressources minérales, identifiées au moment de la conclusion de cette convention comme un patrimoine commun de l'humanité, est gérée par une Autorité internationale des fonds marins, organe délivrant les permis d'exploration, et seule autorité habilitée à délivrer d'éventuels permis d'exploitation. Pour l'heure, aucun de ces derniers n'a été délivré, le processus étant conditionné par la mise au point d'un code minier qui fait l'objet de beaucoup de débats, notamment en matière de protection de l'environnement.

J'en viens maintenant aux recommandations établies par le CPP sur la question des ressources énergétiques et minérales, physiques et numériques :

- Il s'agit d'approfondir la réflexion sur des sujets comme : faut-il prioriser les usages du numérique ? Cette question nécessite sans doute beaucoup plus que des débats d'experts. Faut-il ainsi envisager un système de bonus/malus environnemental concernant notamment les terminaux numériques ? Diane Simiu, dans son introduction, a évoqué un certain nombre de dispositions prises par le législateur, comme l'objectif de réduction de l'empreinte environnementale du numérique (ou REEN), dont la mise en œuvre devra être suivie avec attention.
- Le CPP recommande aussi une application systématique du principe de précaution en préalable à l'éventuelle exploitation de ces ressources minérales, en connaissant mieux les environnements, y compris les biocénoses associées à ces ressources minérales, et de ne

surtout rien faire *avant* que l'on comprenne parfaitement l'impact éventuel qu'aurait leur exploitation. Je signale que les recommandations du CPP ont été émises en début d'année passée et que, depuis cette date, la France a pris des positions très claires en ce sens sur cette question.

- Il faut mettre en place un cadre international pour régler ces problématiques car, comme je l'ai dit, une grande partie de ces ressources se trouvent en dehors des zones sous juridiction purement nationale. Là encore, la France a pris des positions allant vraiment dans ce sens, en demandant à l'Autorité internationale des fonds marins qu'il ne soit pas délivré de permis d'exploitation, considérant que l'état de la connaissance sur les points que j'ai évoqués n'était pas suffisant. La France a la même position concernant l'exploitation de ressources minérales sur son plateau continental, comme le montre l'exemple des collectivités du Pacifique, très concernées par cette question.
- Constatant l'usage croissant des terres rares, des éléments intervenant beaucoup dans le numérique, et en tenant compte de la faible connaissance toxicologique que nous en avons, le CPP a insisté sur la nécessité de renforcer les recherches dans ce domaine.
- Le CPP a estimé qu'il fallait développer la prise de conscience du fait que le numérique n'était pas quelque chose d'immatériel ; dans ce sens, il faut poursuivre les efforts de mesure de son empreinte en matière de gaz à effet de serre, aussi bien au niveau des pays que de toutes les activités concernées. Cette *approche systémique* permettrait de définir quel est l'impact du numérique lorsqu'il intervient dans les secteurs d'activité comme les transports ou l'agriculture.
- Le CPP a enfin rappelé que ces éléments devaient permettre d'aboutir à une *sobriété numérique*.

Applaudissements.

Discussion

André-Jean GUÉRIN

Merci, Bruno, d'avoir rappelé les conclusions auxquels notre groupe était parvenu. Une autre de ces conclusions a fait débat car le CPP s'est rangé à l'avis du Haut conseil pour le climat en ce qui concerne le déploiement de la 5G, en le nuancant toutefois d'une étude d'impact quant aux émissions des GES. Cette thématique montre il est vrai une ferveur générale, la 5G étant perçue comme pouvant permettre de nouvelles fonctionnalités. Toutefois, *The Shift Project* a pris, sur cette question, une position opposée au déploiement de la 5G.

Emmanuel DIDIER, Sociologue, membre du CCNE et rapporteur de l'avis 141 sur IA et diagnostics médicaux

J'ai été très frappé par le fait que vous avez mentionné la question de la sobriété des usages.

Maxime EFOUI-HESS

Nous avons évoqué ce point car, en effet, on ne considère jamais les usages comme quelque chose qu'il s'agirait de gérer par le biais d'une politique publique. Nous ne parlons pas que d'une sobriété au niveau individuel, mais d'un système des usages tel qu'il a pu être décrit par la sociologie des usages. De fait, plutôt que d'usages, sans doute serait-il préférable de parler d'applications.

Nous ne sommes pas du tout en train de dire qu'il faudrait agir sur la demande et pas sur l'offre ; nous affirmons que l'offre, à savoir les infrastructures proposées et les usages, sont les deux faces d'une même pièce : pour prétendre changer la pièce, il ne servirait à rien que de se contenter de ne changer que l'une des deux faces. *The Shift Project* n'a pas pris position contre le déploiement de la 5G, à proprement parler, puisqu'il s'est contenté de faire la remarque suivante : si l'on déploie la 5G de masse, les impacts vont augmenter, les industriels ayant du reste parfaitement prévu une telle augmentation au niveau mondial de leur consommation d'électricité, donc des impacts associés.

En effet, le fait de proposer un réseau avec davantage de capacités induit une augmentation des transferts d'octets pour une même personne ; si l'on ne prend jamais en compte la nécessité de structurer l'infrastructure pour répondre à des besoins identifiés, si l'on ne table que sur une sensibilisation des personnes pour moins utiliser le numérique alors qu'elles disposent, pour le coup, de davantage d'offres, cela ne fonctionnera jamais ! Ainsi, les usages vont appeler les infrastructures et les infrastructures les usages !

Françoise BERTHOUD

La 5G a été conçue pour transporter plus de données ; qui plus est, vous n'êtes pas sans savoir que les travaux de recherche sur la 6G voire la 7G ont déjà commencé : c'est peut-être *maintenant* qu'il faudrait que les instances concernées et les gouvernements agissent pour ne pas poursuivre dans cette direction.

André-Jean GUÉRIN

Cette sobriété implique aussi de moins consommer de terminaux et d'appareils individuels, ces matériels portant une bonne partie des impacts environnementaux.

Françoise BERTHOUD

J'aimerais vraiment insister sur le fait qu'il est impossible de n'évoquer que la seule sobriété du numérique ; cette dernière s'inscrit dans une approche systémique, il faut raisonner de façon globale, pour ne pas générer de nouveaux impacts toutes les fois que l'on essaie de résoudre un problème unique.

Francelyne MARANO, Professeur émérite de biologie cellulaire et de toxicologie à l'Université Paris-Diderot, Membre et copilote de la Commission spécialisée dans les risques liés à l'environnement du Haut Conseil de la santé publique (HCSP)

Il faut savoir que le déploiement de la 5G s'est réalisé sans que nous ne disposions de connaissances sur son impact sanitaire, le principe de précaution n'ayant donc pas du tout été pris en compte à cette occasion.

J'ai été frappée par le fait que la collecte des matériels du numérique soit si mauvaise. Avez-vous des propositions pour améliorer le cycle de vie de ces matériels, la majorité des composants constituant ces derniers polluant fortement l'environnement ?

André-Jean GUÉRIN

Voici quelques années, nous connaissions la pratique consistant à réutiliser les bouteilles de verre par le biais d'une consigne, et c'était d'ailleurs un système qui fonctionnait assez bien !

Françoise BERTHOUD

La question des déchets est extrêmement complexe, en raison de problèmes liés à la collecte, mais aussi à cause de problématiques économiques ou concernant les flux. Les savoirs sont aussi limités : force est de constater que nous ne savons pas recycler certains matériaux. Set si l'on voulait traiter vraiment de la problématique de la collecte, il faudrait aussi se pencher sur des sujets comme la pauvreté dans le monde ou les exportations à l'international des déchets. Ainsi, la plupart des acteurs se penchant sur cette question n'hésitent pas à parler d'une influence des mafias dans ce domaine.

En France, nous pourrions continuer à informer, encore plus, la population, rendre l'accès à des déchetteries ou des points de collecte plus facile, surveiller les frontières pour que ces matériaux ne soient pas exportés, sans oublier de procéder à des formations dans les secteurs industriels, etc.

Philippe HUBERT, Directeur de la plateforme PEPPER : Plateforme Public-Privé sur la Pré-validation des méthodes d'essai sur les Perturbateurs EndocRiniens

Lorsque nous avons commencé à travailler sur ce sujet-là, aucun frémissement ne donnait l'impression que les choses allaient être prises en compte ; or, je constate qu'un texte sur la réduction de l'empreinte environnementale du numérique a été publié. De même, j'ai entendu certaines personnes s'inquiéter de la baisse actuelle des ventes de téléphones portables. Peut-être faut-il se demander ce qui pilote le monde numérique ; est-ce une culture de masse ou certains acteurs ?

Françoise BERTHOUD

En effet, en 2018, quand *The Shift Project* a produit son rapport, que certaines lois ont émergé, je me suis fait la même remarque que vous ; toutefois, depuis cette date, les différents gouvernements en place ont affirmé qu'il était possible de réaliser du numérique sobre mais... pour faire plus de numérique !

Maxime EFOUI-HESS

La France a créé un Secrétariat général à la planification écologique, dont l'ambition consiste à changer la société pour qu'elle soit sobre, autrement dit afin de traiter *tous* les secteurs. Or, aucune trajectoire de référence n'a été communiquée pour planifier le numérique ; nous n'avons dès lors aucune idée des leviers à mettre en place pour y parvenir et quand bien même, on s'en moque, puisque nous ne savons absolument pas quels sont les objectifs !

Si l'on considère que le numérique doit être décarboné, il faut alors l'inscrire dans la SNBC (ou Stratégie nationale bas-carbone), ce qui nous permettra de discuter sur des bases quantitatives. Ensuite, il s'agira de piloter une telle orientation, ce qui nous permettra de ne pas pâtir d'une liste de leviers uniquement décidés par les industriels qui ne peuvent pas, par définition, saborder leur

chaîne de valeur en proposant de la sobriété. La charge de la preuve deviendra alors : il m'est possible de déployer cette solution si je suis capable de démontrer qu'elle est compatible avec ladite trajectoire, ce qui est finalement une stratégie assez simple à mettre en œuvre.

III. Deuxième table ronde : Le numérique au service de la santé ?

Patrick GAUDRAY, Directeur de Recherche retraité du CNRS, virologue moléculaire et généticien, spécialiste de l'éthique

Il est important de remarquer que le titre de cette table ronde est inscrit sous la forme d'une question, indiquant assez clairement que, pour le CPP, aucune évidence n'est de mise dans ce domaine. Si santé et médecine sont évidemment totalement interconnectées, la science est arrivée à l'intérieur de la médecine pour transformer son statut d'art médical et en faire une médecine fondée sur des preuves ou des données scientifiques probantes. Cette transformation s'est bien sûr accompagnée de progrès techniques, aussi bien médicaux que chirurgicaux. Il serait dès lors absurde de nier que la durée de vie moyenne de la population, dans notre pays, a été multipliée par trois depuis le milieu du 18^e siècle. Nous constatons aussi que ces progrès s'infléchissent, voire deviennent négatifs dans certains pays, y compris le nôtre, pour ce qui a trait par exemple à la notion de durée de vie en bonne santé.

Ce développement de la compétence médicale que l'on lit beaucoup, désormais, à l'essor du numérique et de l'intelligence artificielle, nous permet de prendre en charge des phénomènes et des interactions de plus en plus complexes, tant sur le plan scientifique, médical, que sur le plan social. L'accent mis au niveau de la santé, considérée par le biais du risque et de la surveillance, mais aussi la nature de plus en plus technoscientifique de la biomédecine et des transformations dans la gestion et l'utilisation de l'information médicale, interrogent plus encore qu'elles n'affirment l'origine et la nature, mais aussi les conséquences des progrès auxquelles ils sont associés.

L'OPECST (ou Office parlementaire des choix scientifiques et techniques) remarquait déjà, en 2012, dans son rapport intitulé *L'innovation à épreuve des peurs et des risques*, qu'il convenait toutefois de « différencier l'innovation de la notion de progrès, terme que la France avait diffusé dans le monde, et qui peut être vu comme la recherche d'un idéal positif à atteindre par les sciences, les techniques et donc l'innovation. C'est donc la finalité de l'innovation qui en constitue le processus le plus puissant. »⁶

Ceci amène à une place de plus en plus importante prise par la santé dans notre société, qui crée en retour un flou croissant entre les interventions de la médecine au profit du malade tel qu'il est classiquement défini, et celles qui répondent à des demandes plus sociétales que médicales.

La santé est un objet social extrêmement difficile à définir ; on peut remonter au *Docteur Knock ou le Triomphe de la médecine* de Jules Romains en 1923, en passant par le doyen René Leriche, spécialiste de la douleur, qui parlait en 1936 de la santé comme étant « la vie dans le silence des organes ». Nous nous arrêterons à la définition donnée par l'OMS, en 1946, qui affirme que la santé n'est pas seulement une absence de maladie, mais un état de complet bien-être sur les plans

⁶ Voir : <https://www.senat.fr/rap/r11-286-1/r11-286-10.html>

physique, mental et social, ce qui à vrai dire ressemble davantage à une définition du bonheur que de la santé, comme me le fit remarquer un de mes collègues !

Cela signifie donc que la santé ne peut pas être un état, puisqu'elle est au contraire un idéal vers lequel on tend. Elle est devenue un processus culturel visant à l'amélioration de la qualité de vie, particulièrement depuis que la médecine a acquis des outils efficaces pour lutter contre la maladie et la mort.

Entre la fin de l'année 2022 et 2023, le CCNE (ou Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé), conjointement avec le CNPEN (ou Comité national pilote d'éthique du numérique), a publié deux avis, numérotés 141 et 143, qui concernent notre sujet, le premier⁷ sur les enjeux éthiques du diagnostic médical et de l'intelligence artificielle, le second⁸ consacré aux plateformes de données et de santé en lien là encore avec leurs enjeux éthiques.

Nous accueillons deux spécialistes qui vont nous aider à mieux comprendre mais, surtout, du moins je l'espère, vont ouvrir une discussion sur ces sujets que le CPP a abordé dans ses travaux ; je signale qu'Emmanuel Didier a d'ailleurs été le corapporteur des deux avis que j'ai mentionnés.

Alain GRIMFELD, Professeur honoraire en pédiatrie à l'Université Pierre et Marie Curie, président du CPP

J'aimerais insister sur trois points. Tout d'abord, il faut en effet appuyer le fait que, lorsque l'on parle de santé, on ne parle pas de médecine. Nous attachons de l'importance à la définition que Patrick Gaudray a rappelée comme étant celle de la santé, le CPP s'étant autorisé à aborder le prolongement de cette définition, à savoir l'épanouissement de la personne, au sens positif du terme, en excluant donc une autre forme d'épanouissement qui ne serait que la maximisation des potentialités productivistes de la personne dans le cadre de la société.

Ensuite, abordant le sujet de la santé publique et de l'environnement numérique, nous avons pris position sur le périmètre suivant, en nous accordant sur le fait que l'environnement numérique serait comparable à celui de l'environnement matériel : l'air, l'eau, les sols et les radiations. Nous avons de fait tenu pour acquis que nous étions entourés, et cela de plus en plus, par le numérique : c'est dans ce cadre-là que nous avons réfléchi à notre sujet.

Enfin, le troisième point tient au fait que, selon nous, la numérisation et la quantification de ce qu'est une personne malade ou qui le sera peut-être si elle y est prédisposée génétiquement, ne respectent pas les feuilles de route gouvernementales, ce constat résultant de la confusion entre santé et médecine.

Emmanuel DIDIER⁹

Nous avons travaillé, dans le cadre du CCNE et du CNPEN, créé voici deux ans et établi « pour de bon » cette année, les dispositifs médicaux qui utilisent l'intelligence artificielle pour établir des

⁷ Voir : <https://www.ccne-ethique.fr/fr/publications/avis-141-du-ccne-et-4-du-cnpn-diagnostic-medical-et-intelligence-artificielle-enjeux>

⁸ Voir : <https://www.ccne-ethique.fr/fr/publications/avis-143-du-ccne-et-5-du-cnpn-plateformes-de-donnees-de-sante-enjeux-dethique>

⁹ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

diagnostics. Ce sujet est donc beaucoup plus restreint que toutes les questions que nous avons abordées ce matin.

Nous avons essayé de chercher quelle était la bonne distance entre la pratique médicale et ce type d'outils ; comment les médecins pouvaient essayer de profiter des bénéfices apportés par ces technologies, sans toutefois se sentir « téléguidés » par les décisions d'une machine susceptible de les influencer bien au-delà de ce que l'on pourrait souhaiter.

J'insiste sur le fait que nous avons répondu à une saisine gouvernementale émise, à l'époque, par le Premier Ministre, Édouard Philippe. Nous avons travaillé sur trois cas particuliers : nous avons commencé par évoquer les dispositifs médicaux qui utilisent l'intelligence artificielle, en essayant d'établir un panorama des usages médicaux réels de ces dispositifs.

Ensuite, nous avons abordé la question des régulations qui entourent l'intelligence artificielle dans le cadre médical.

Enfin, nous avons problématisé la question de savoir si une solution existait consistant à ne pas utiliser l'intelligence artificielle pour rendre muet le patient mais, au contraire, s'interroger pour savoir s'il n'était pas possible d'augmenter la participation de ce dernier.

Pour commencer, il faut noter que l'utilisation de l'intelligence artificielle fonctionne principalement pour les analyses d'images, car ce sont pour l'essentiel les radiologues qui utilisent cette technique. Toutefois, un risque d'erreur est toujours de mise avec ce type d'outil, car il n'existe pas d'intelligence artificielle sans marge d'erreur. Il est très important de garder à l'esprit que la machine peut faire des erreurs, qui engendrent ce que les radiologues appellent des *incidentalomes* : en se fiant trop à une machine, un radiologue peut suggérer de procéder à de nouveaux examens, engageant le patient dans un très long parcours de soins.

Un des points que nous recommandons consiste à suivre un avis européen (*EU AI Act Project*) qui, dans son article 14 en cours de discussion, propose un contrôle humain, afin que la machine soit toujours vérifiée par un œil humain¹⁰.

Un deuxième usage, moins important, commence à se développer, qui concerne l'optimisation des parcours de soins, afin de prioriser l'accès aux soins des patients aux urgences ; cependant, cette technique obéit très souvent à des impératifs organisationnels ou économiques, le soin devenant second par rapport à l'idée qu'il faudrait soigner d'abord les patients qui sont les plus compatibles avec les questions posées par l'IA. Ce sont alors des problèmes de non-priorisation des soins qui peuvent être engendrés par ce biais. Le CCNE a beaucoup insisté sur le fait que les systèmes d'IA restent des éléments complémentaires qui ne doivent en aucun cas se substituer à l'équipe médicale.

¹⁰ « *AI systems shall be designed and developed in such a way, including with appropriate human-machine interface tools, that they can be effectively overseen by natural persons during the period in which the AI system is in use.* »

Enfin, nous avons beaucoup parlé des « *wearable devices* », très à la mode ; *in abstracto*, ces technologies pourraient être utiles pour le soin, mais elles soulèvent plusieurs problèmes comme le recueil et la conservation des données, ou la possibilité que des avis de non-professionnels soient délivrés. Dès lors, certaines personnes pourraient être éloignées du système officiel de soins, et cela alors même que nous ne serions pas du tout sûrs que les indications données par ces objets seraient à la mesure et à la hauteur des systèmes de soins officiels.

Nous avons ensuite observé dans quelle mesure les systèmes de soins pouvaient être régulés, en commençant par tenter d'évaluer le bénéfice clinique de ces derniers. Il faut tout de suite remarquer que c'est la Haute Autorité de santé qui, en France, est chargée d'évaluer ces données, mais elle n'intervient que pour les dispositifs remboursés par la sécurité sociale, alors même que la plupart de ces derniers sont achetés par les médecins. En fait, nombre de ces outils et dispositifs ne sont tout simplement pas évalués en termes de bénéfices cliniques, notamment en radiologie.

Nous avons souligné qu'il fallait s'assurer, à tout le moins, d'un certain niveau de ce qui, en anglais, est indiqué par le terme « *explainability* », ou « explicabilité » en bon français ; nous ne demandons évidemment pas que chaque système soit compréhensible par tout le monde, et cela alors même que les informaticiens eux-mêmes ne savent pas comment fonctionnent les réseaux de neurones. En revanche, il faut que le système soit explicable, à tout le moins, par le médecin.

Ensuite, nous avons demandé que la HAS, à défaut d'évaluer chacun des bénéfices cliniques, établisse au moins un référentiel que les acheteurs de ces dispositifs pourraient consulter, ce que qu'elle est heureusement en train de faire.

Une certification, ce qui est très différent d'une évaluation, est réalisée par l'ANSM. Elle consiste à vérifier l'absence de dangers à l'utilisation de tels systèmes : le dispositif peut dans ce cas être estampillé « CE » et ainsi accéder au marché européen ; or, ce marquage est extrêmement discutable, car c'est l'industriel qui met en place le dispositif ; ensuite, ce dernier est validé par ce que l'on appelle les *organismes notifiés*, une institution pour remplir ce rôle. De nombreux débats ne peuvent donc que surgir sur l'indépendance de ce marquage « CE ». Ainsi, les bases de données consultées pour tester les dispositifs utilisant l'IA ne sont que très rarement mesurées en termes de biais engendrés. Il est urgent de repenser cette évaluation des risques des dispositifs médicaux utilisant de l'IA.

Nous nous sommes interrogés pour savoir si l'IA pourrait améliorer la participation des patients aux systèmes de soins, par l'idée consistant à développer ce que nous avons appelé un « assistant digital » ; il ne s'agirait pas de créer une nouvelle participation mais de mettre en place l'apprentissage de certains rudiments de l'IA, de façon à ce qu'un personnel formé puisse expliquer davantage comment fonctionne cette dernière, de manière, aussi, à faciliter les rapports entre les systèmes de soins et les patients.

Il nous semble important qu'un patient en train d'être soigné puisse être informé du fait que les médecins utilisent un dispositif s'appuyant sur de l'IA, en adaptant comme je l'ai dit l'apprentissage des personnes participant aux systèmes de soins, et en procédant systématiquement à une vérification, de la part du médecin, de la réalité du risque identifié par la machine.

Nous avons estimé que les membres des systèmes de soins doivent être capables d'utiliser l'IA quand cela est possible, en veillant à toujours garder une bonne distance, et sans se laisser trop conduire par ce genre de dispositifs.

Applaudissements.

Gayo DIALLO, Professeur d'informatique et Santé, Université de Bordeaux¹¹

J'ai choisi de vous parler de plusieurs études, commencées voici assez peu de temps, sur le suivi, par exemple, de la qualité de l'air et de son impact sur la santé ; nous nous sommes appuyés sur ce que l'on appelle le numérique et l'IA « symbolique », autrement dit celle qui n'est pas vraiment dédiée au « *deep learning* », puisque nous utilisons de la connaissance *a priori*, à partir de laquelle nous raisonnons, avec des applications en santé publique principalement.

La quatrième diapositive de ma présentation montre un exemple de bénéfice tiré du numérique, dont la puissance de calcul et de stockage a augmenté fortement ces dernières années, lorsqu'il est utilisé pour des indicateurs évoluant rapidement en santé publique.

Le levier du stockage est important, tout comme celui de la disponibilité des données (qu'elles soient « traditionnelles » ou provenant de l'Internet des objets), même si les questions d'éthique se posent à l'évidence, comme cela a été plusieurs fois souligné. De la sorte, il nous est possible d'aller plus vite par le biais de cette aide, sans parler, encore une fois, des aspects dont il faut évidemment tenir compte, éthiques pour la plupart, avec la question du respect de la vie privée ou bien celle des impacts environnementaux. Qui dit augmentation des capacités de calcul dit aussi un impact accru dû à l'émission de GES.

Nous avons la chance de disposer, à Bordeaux, d'un entrepôt de données hospitalières provenant de plus de 2 millions de patients, ce qui nous donne la possibilité d'offrir à des chercheurs de réaliser des études de santé à l'échelle populationnelle ; c'est là aussi un levier essentiel, qui plus est complété par la mise en place, au niveau de l'Europe, d'un espace des données de santé.

J'ai évoqué précédemment un cas d'étude de la surveillance de la qualité de l'air, un important facteur de risques de nos jours. Nous avons à cet effet utilisé des outils basés sur l'IA, en utilisant ce que nous appelons des « graphes de connaissances », non seulement pour réaliser l'apprentissage proprement dit de la machine mais, ensuite, afin de procéder à des prédictions. Comme je l'ai dit, nous utilisons une IA symbolique ; le fait que le secteur de la santé repose sur une tradition de clarté consistant à nommer et classer les choses de façon précise facilite ce travail. Nous avons appliqué ce dispositif pour essayer de trouver le lien possible entre les polluants de l'air, plus spécifiquement les particules fines, et des pathologies. Un graphe se compose de « nœuds », ou d'entités importantes dans un ensemble de données, reliés par un ensemble d'« arêtes », ou de relations entre les entités des nœuds qui peuvent être dirigées d'un nœud de tête vers un nœud de queue. Ces systèmes peuvent par exemple être utilisés pour plusieurs types de problématiques, comme le repositionnement de médicaments.

L'IA n'est pas loin de nous ; ainsi, si vous utilisez un moteur de recherche, vous utiliserez de l'IA symbolique, Google s'appuyant sur un graphe de connaissances, comme le montre l'exemple projeté au tableau, qui concerne un artiste que vous connaissez parfaitement, Léonard de Vinci. De fait, lorsque vous cherchez des informations, vous pouvez recevoir des réponses très précises, sans passer par un système de type « ChatGPT » que tout le monde évoque en ce moment. Ces

¹¹ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

réponses sont en tout cas issues d'une base de connaissances préalablement construite dans un domaine dédié, une technologie sur laquelle nous nous appuyons pour réaliser nos propres travaux.

Nous sommes obligés de passer par une étape consistant à transformer de la connaissance en une entité vectorielle, ce qui permettra ultérieurement de procéder à des calculs.

Nous avons posé la question suivante : comment des données rétrospectives sur la pollution de l'air provenant de sources hétérogènes et intégrées dans un graphe de connaissances peuvent-elles permettre de prédire des liens plausibles entre les polluants et les problèmes de santé ? De la sorte, nous avons tenté de voir si nous étions capables de détecter des liens possibles entre des polluants et des pathologies.

Nous avons pour ce faire utilisé des données très hétérogènes, qu'elles proviennent de satellites, d'agences de surveillance de la qualité de l'air en France, mais aussi provenant des services d'urgence ou de l'Insee. En utilisant de l'IA, nous transformerons ce type de graphes en vecteurs, pour essayer ensuite de calculer possiblement des similarités nous permettant de découvrir l'existence de liens cachés.

Nous avons pu montrer que nos propres travaux utilisant l'IA avaient établi l'existence de liens qui avaient été préalablement démontrés de manière scientifique.

L'une des applications possibles de ces technologies, comme abordé par des collègues au Laboratoire Bordeaux *Population Health Inserm 1219*, consiste à aider au triage de personnes appelant les services d'urgence, ou encore afin d'essayer de prédire le comportement suicidaire chez les étudiants.

En guise de conclusion, nous pouvons affirmer qu'il existe de réelles opportunités pour faire avancer certaines questions de recherche grâce à la disponibilité des données, la puissance de calcul et de stockage, et ces nouveaux outils dans leur ensemble ; toutefois, je le répète, toutes ces solutions sont très gourmandes en ressources, ce qui ne peut que signifier un impact environnemental certain, mais aussi une question éthique à prendre en compte.

Applaudissements.

Discussion

Patrick GAUDRAY

En vous écoutant, Messieurs, j'ai compris que, si certains systèmes fonctionnaient bien, on nous vantait quand même des choses qui interviennent dans des domaines de médecine plutôt que de santé ; j'ai du coup l'impression de constater une forme de décalage entre le but principal de la médecine et de l'accès à la santé, autrement dit l'humain, et les méthodes employées pour améliorer la prise en charge. On évacue, en fait, l'humain hors du cadre qui nous intéresse, et je ne sais pas comment nous pourrions retisser réellement du lien entre des progrès techniques manifestes et même brillants, et les pauvres êtres que nous sommes ! Je n'ai toujours pas vu les endroits où cette numérisation de la médecine allait apporter un progrès pour l'humain, pour nous, même si le progrès de la connaissance, de la technique et de l'administration de la santé, lui, sera sans doute certain.

Bruno FRACHON

Est-ce que l'on a une estimation du taux de pénétration ou d'utilisation de ces technologies fondées sur l'IA dans la médecine ? Dans les années 80, on a ainsi fondé beaucoup d'espoirs, notamment en

médecine, sur l'utilisation de systèmes experts, qui semblent désormais ne plus vraiment être utilisés.

Emmanuel DIDIER

L'intelligence artificielle est très intimement liée à l'état du système de soins global, et force est de constater que le sentiment s'est généralisé de ne plus avoir le temps d'apporter des soins. Les radiologues ont avancé comme argument que le recours à l'IA leur permettrait de libérer du temps pour pouvoir voir leurs patients.

Ceci étant, la plupart des dispositifs médicaux fondés sur l'IA ne sont pas utilisables en situation réelle, car il ne s'agit bien souvent que de propositions faites par les industriels. De fait, il faut garder à l'esprit que la notion de promesse est essentielle dans le domaine de l'IA, puisque l'on confond fortement les promesses faites par les industriels et l'état des lieux réel. C'est ce que nous avons essayé de montrer en préambule de l'avis du CCNE.

Patrick GAUDRAY

Je connais bien la problématique, en tant que généticien, de la promesse ! Il me semble que l'on oublie un peu trop, avec ces dispositifs s'appuyant sur l'IA, l'examen clinique proprement dit, qui considère un patient dans son ensemble. J'ai donc peur que ces nouvelles techniques hypersophistiquées, permettant il est vrai de réaliser des progrès à *certaines aspects* de la médecine, ne nous fassent oublier ce qui fonctionne dans la reconnaissance globale d'une personne qui souffre et se sent malade.

Gayo DIALLO

J'irai dans le même sens que ces propos, car, si les outils existent, ils n'ont pas encore été introduits dans la pratique, ne serait-ce que pour des questions de législation qui n'ont pas été réglées. Par ailleurs, cette problématique n'est pas aussi simple, et je vous rappelle qu'un système vendu par IBM s'est cassé la figure ! Il y a donc clairement du travail à faire car c'est un domaine très complexe, puisqu'il n'est pas déterministe.

André-Jean GUÉRIN

Le système médical, du moins en France, est peu autorégulé, et nous disposons d'assez peu de données automatiques entre la quantité de prescriptions et leur impact budgétaire. On pourrait avoir le même raisonnement sur le numérique : comment des médecins faisant des erreurs et pouvant se faire aider par des systèmes numériques auront des formations leur permettant de faire moins d'erreurs, en se servant de l'IA, et cela sans en abuser, ce qui n'entraînerait que des dépenses supplémentaires et de nouveaux impacts environnementaux ?

Philippe HUBERT

J'aimerais savoir si les systèmes actuels prennent en compte la problématique consistant à minimiser les doses aux patients.

Emmanuel DIDIER

Je ne sais pas répondre à votre question, le CCNE ayant abordé la problématique dont nous traitons *via* une vision éthique, sans prétendre développer une politique publique aussi précise que celle que vous venez de dessiner. Il s'agissait avant tout, pour nous, d'établir des alertes sur des « tensions éthiques », par exemple en changeant quelque peu les cursus médicaux.

Alain GRIMFELD

Nous pourrions évoquer le cas d'une prédiction de survenue du cancer du sein chez des femmes génétiquement prédisposées, mais je ne sais pas si vous vous êtes intéressés à cette question d'un point de vue éthique. De plus, ne pensez-vous pas que nous risquons d'aller vers une dérive consistant à pratiquer davantage d'examen en raison de l'utilisation de l'IA ? Enfin, j'aimerais demander à Monsieur Diallo comment il a été possible de dépister les tendances suicidaires chez les adolescents grâce à l'IA.

Cécile Chevrier, Épidémiologiste, Chercheur à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) demande par le « chat » de la visioconférence quelles seraient les orientations principales concrètes à proposer pour améliorer l'évaluation des risques liés à l'IA dans les dispositifs médicaux, et s'il ne faudrait pas, en outre, accorder des moyens et des compétences à l'ANSM pour évaluer ces dispositifs.

Emmanuel DIDIER

Beaucoup d'études sont actuellement menées concernant le diagnostic le plus précoce possible du cancer du sein par l'utilisation de l'IA mais, à ma connaissance, ce ne sont encore que des études. Il est tout à fait possible que l'utilisation de l'IA devienne un recours de plus en plus pratiqué, ce qui est un travers qu'il nous faut effectivement prendre en compte.

Gayo DIALLO

Une large cohorte d'étudiants a été utilisée afin d'identifier quatre facteurs majeurs liés à des comportements suicidaires.

Isabella ANNESI-MAESANO, Professeur-enseignant à l'Université de Montpellier et DR1 Émérite à l'Inserm

J'aimerais connaître votre point de vue sur la prise en compte des préoccupations éthiques lorsque l'on utilise l'intelligence artificielle mais aussi les données personnelles.

Emmanuel DIDIER

C'est une très vaste question, plutôt traitée dans celui des deux avis évoquant la problématique des plateformes de données de santé. Le RGPD (ou Règlement général sur la protection des données) stipule que, tant que les données sont personnelles, elles ne peuvent pas être vendues, car ce sont des attributs qui ne sont pas commercialisables. Il ne peut donc pas y avoir de marché de données personnelles, du moins normalement ; elles ne peuvent circuler qu'en étant anonymisées, ce qui est complexe à réaliser. Cette question, si elle est clairement centrale, est malheureusement très peu perçue par le public.

Applaudissements.

IV. Troisième table ronde : Santé et exposome numérique

*Introduction*¹²

Isabella ANNESI-MAESANO, Professeur d'Epidémiologie Environnementale, Directeur de recherche, Codirecteur Institut Desbrest d'Epidémiologie et Santé Publique, Université de Montpellier, INSERM, Montpellier, Service d'Allergologie et Pneumologie, CHU, Montpellier

Nous avons dû faire le choix de ne présenter que quelques-uns des aspects qui sont illustrés dans le rapport du Comité de la prévention et de la précaution. L'exposome numérique ou digital est l'ensemble des traces numériques laissées par un individu dans le monde numérique et les données générées (informations personnelles, activités en ligne, interactions sur les réseaux sociaux, données de localisation, historiques de navigation, achats en ligne, données de santé, etc.) à travers ses interactions avec les technologies numériques.

L'exposome numérique peut être considéré comme l'équivalent numérique de l'exposome environnemental, qui fait référence à toutes les expositions environnementales auxquelles un individu est soumis tout au long de sa vie. Alors que l'exposome environnemental inclut des facteurs tels que l'alimentation, l'air que nous respirons, les produits chimiques auxquels nous sommes exposés, l'exposome numérique se concentre sur les données générées par nos activités en ligne.

Le numérique peut évidemment avoir un impact positif en termes de recherche, de mesures, mais aussi de santé publique et de bien-être des individus bien que, dans ce dernier cas, les données soient rares et que nous ayons besoin de davantage d'investigations.

Mais il faut bien sûr mentionner les risques potentiels, et nous sommes tous avertis du fait que le numérique a un impact important sur la vie privée, mais aussi la sécurité, qu'il s'agisse de publicités ciblées ou même de surveillance à large échelle. Les entreprises collectent et analysent souvent ces données pour différents objectifs, tels que la publicité ciblée, la personnalisation des services, la prise de décision basée sur les données, et même la surveillance gouvernementale. Il est donc important d'être conscient des données que nous partageons en ligne et des mesures de protection de la vie privée que nous pouvons prendre.

Le concept d'exposome, au sens environnemental du terme, est apparu en premier, en 2005, par le biais de recherches du Président du CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) de l'époque, Christopher Wild, qui n'arrivait plus à expliquer pour quelles raisons une explosion des cancers était observée. Il s'agissait de prendre en compte tous les facteurs potentiels impliqués ; de fait, les facteurs ne sont pas isolés mais agissent en combinaison sur l'organisme.

L'exposome numérique a des liens avec le précédent, puisqu'il s'agit de parvenir à la collection de toutes les expositions des individus, au cours de leur vie entière, aux objets du numérique. La meilleure façon de recueillir ces données consiste à réaliser des études par le biais de mesures

¹² Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

réalisées en temps réelles telles que celles obtenues à l'aide de micro-capteurs environnementaux et de capteurs envoyant des données toutes les 15 secondes.

L'exposome numérique et l'IA peuvent s'influencer mutuellement, le premier fournissant des données à la seconde, celle-ci pouvant être utilisée pour étudier le premier et éventuellement améliorer la protection de la vie privée. Comme nous n'avons cessé de le répéter, ces problématiques nécessitent la prise en compte de préoccupations éthiques et de confidentialité associées à ces données et à leur utilisation.

L'exposome numérique fournit une quantité importante de données qui peuvent être utilisées comme inputs pour les systèmes d'IA. Les données générées par nos activités en ligne, telles que les interactions sur les réseaux sociaux, les historiques de navigation, les données de santé numériques, peuvent être exploitées pour entraîner des modèles d'IA et améliorer les performances des algorithmes.

D'un autre côté, l'IA peut être utilisée pour analyser et traiter l'exposome numérique. Les techniques d'IA, telles que l'apprentissage automatique et le traitement du langage naturel, peuvent être appliquées à ces données pour extraire des informations utiles, détecter des modèles, prédire des comportements ou des tendances, et prendre des décisions basées sur les données.

Cependant, l'utilisation de l'IA dans le contexte de l'exposome numérique soulève également des préoccupations en matière de vie privée et de sécurité. L'IA nécessite souvent de grandes quantités de données pour être efficace, ce qui soulève des questions sur la collecte, le stockage et l'utilisation de ces données personnelles. Il est important de mettre en place des mécanismes de protection des données et des garanties de confidentialité pour prévenir les abus potentiels.

L'IA peut également être utilisée pour renforcer la protection de la vie privée et la sécurité dans le domaine de l'exposome numérique. Par exemple, les techniques d'IA peuvent être utilisées pour l'anonymisation des données, la détection des intrusions, la prévention des cyberattaques, et la protection des informations sensibles.

En résumé, l'exposome numérique se décline à plusieurs niveaux, du schéma conceptuel des études de compréhension des effets de l'environnement sur la santé, jusqu'au niveau de la réalisation des mesures, d'analyse des données et à l'application elle-même.

Le champ d'investigation étant énorme, nous avons donné la priorité à certains aspects comme la lumière bleue et les écrans, mais aussi les impacts sur les attitudes physiques au poste de travail. Mais bien d'autres expositions en lien avec le numérique existent.

Bernard SALLES, toxicologue, professeur émérite de l'université de Toulouse

Je vais rapidement évoquer les recommandations du CPP sur ces impacts physiques du numérique. C'est une réflexion à laquelle tous les membres du Comité ont participé, mais plus particulièrement Francelyne Marano, Philippe Hubert et Alain Grimfeld.

Nous en avons distingué deux types d'impacts des agents physiques liés à l'usage du numérique sur la santé humaine : la lumière bleue et les radiofréquences. *En termes de prévention* sur la lumière bleue, nous proposons ainsi une meilleure gestion du temps d'exposition et de limiter la composante bleue émise par les écrans, une recommandation qui pourrait être prise en compte par les industriels.f

En termes de précaution, nous avons recommandé de développer les recherches pour établir des protocoles thérapeutiques dans l'utilisation de la lumière bleue dans le cas de dépressions et de certaines migraines.

Nous avons également recommandé de développer des recherches en rapport avec un usage de plus en plus fréquent des écrans, avec un effet majeur, la désynchronisation de l'horloge circadienne, due à l'inhibition de la sécrétion de la mélatonine.

Nous avons suggéré de régler l'éclairage de l'ordinateur mais aussi de respecter des pauses régulières sans oublier de limiter l'exposition aux écrans des nouveau-nés et des nourrissons jusqu'à deux ans.

Pour ce qui concerne les ondes électromagnétiques, *en termes de prévention*, nous avons recommandé d'améliorer l'accessibilité d'une information qui soit compréhensible par le grand public, et de développer la communication vers celui-ci sur l'exposition aux ondes Wi-Fi et aux compteurs électriques connectés. Il faut aussi élaborer des guides de bonnes pratiques médicales sur l'électro-sensibilité à destination des médecins, communiquer davantage auprès du public, des bailleurs sociaux, des maires et des associations de parents d'élèves sur les possibilités de faire réaliser des mesures représentatives et, si possible, de construire un cadastre électromagnétique.

En termes d'impact sur les attitudes physiques et pour ce qui est de l'hypersédentarité, trois points de vigilances *en termes de prévention* sont à noter : la fatigue visuelle, les TMS ou troubles musculo-squelettiques et le stress, avec un impact relatif aux risques psycho-sociaux.

Nous proposons donc *en termes de prévention* de réduire la contrainte musculo-squelettique en alternant les tâches ou en multipliant les temps de pause. Pour la vision, il s'agit de quitter les yeux de l'écran et de regarder loin de temps en temps, au moins toutes les 20 minutes.

Notons tout de même des effets positifs *en termes de prévention*, à savoir le maintien dans l'emploi et la prévention des désinsertions, en permettant à des patients, y compris handicapés, de reprendre un travail et de diminuer ainsi le poids de leur handicap au plan professionnel.

Il ne faut pas considérer le terme de productivité de manière négative, mais comme le fait de se donner du temps pour soi, y compris du temps à perdre, un temps perdu étant un temps important pour que les gens disposent de bonnes qualités de travail.

Enfin, nous avons recommandé de réduire les facteurs organisationnels et structurels conduisant à la sédentarité et à l'insuffisance d'activités physiques.

En termes de précaution, sur ce même sujet, nous recommandons de développer des recherches sur la contribution de l'exposome numérique à la baisse d'activités physiques et à la sédentarité constatée, qui est en accroissement dans la population.

La question de l'addiction, qui sera plus loin traité par Jean-Michel Costes consiste, *en termes de prévention*, à mieux réguler les conditions de jeux responsables d'addictions et de pertes financières

incontrôlées, notamment chez les jeunes ; *en termes de précaution*, il faut développer les recherches des co-addictions *via* des études épidémiologiques.

Sébastien DEMAY, Juriste en droit privé, spécialiste de la charge de travail associée au numérique

Je tiens à remercier le CPP de m'avoir invité à m'exprimer sur un sujet fondamental, la santé et le numérique. Mon intervention s'articulera autour de trois axes que sont l'évolution de la charge de travail et les effets sur la santé des salariés liés au numérique, le cadre réglementaire existant pour prévenir les risques sur la santé des travailleurs (personnes travaillant dans le secteur privé comme le secteur public) et enfin un axe prospectif sur l'une des solutions que j'aimerais voir mise en avant dans les projets de loi en cours sur la santé au travail.

Il est nécessaire pour commencer de redéfinir la notion de charge de travail. Elle a été définie, majoritairement, par des sociologues et des ergonomes, à travers trois concepts que sont : la charge prescrite, formellement donnée aux travailleurs de manière orale ou écrite *via* des procédures ; la charge réelle correspondant à la charge effectivement exécutée par le salarié ou le travailleur et, enfin, la charge de travail subjective, définie en 2000 comme étant l'évaluation, par le travailleur, du rapport entre la contribution et la rétribution du travail. Nous verrons que le numérique modifie ces différents modèles en fonction de l'usage que l'on fait des outils.

Les effets du numérique sur la charge du travail présentent certains avantages comme le fait qu'il peut permettre, dans certaines conditions, de supprimer des tâches dangereuses (démontage, travail sur des environnements pollués, etc.) ; dans certains cas, le travail à faible valeur ajoutée pourra être retiré, ce qui permettra de garder la part purement « poétique » du travail, afin de se consacrer, dans une approche subjective, sur la beauté de celui-ci. Certains robots conversationnels peuvent aussi présenter des avantages, leur fonctionnement permanent permettant à des personnes d'éviter de travailler sur des périodes de nuit ou d'être épuisées à donner une multitude d'informations pouvant être délivrées par un outil numérique.

Je vais insister sur les effets négatifs ; un accord-cadre européen sur le numérique a été signé le 22 juin 2020, soulevant la problématique du numérique dans le monde du travail, en particulier le fait que ce dernier peut porter atteinte à la dignité humaine et dégrader les conditions de travail, voire accroître la non-maîtrise des temps de travail et agrandir les temps de connexion. De même, la frontière entre la vie personnelle et la vie professionnelle peut avoir tendance à s'effacer ; d'ailleurs, le rapport du CPP, publié le 26 juin 2022, relevait l'intensification du travail, mais aussi la réduction de l'autonomie du travailleur, l'extension de la disponibilité et de l'espace-temps professionnel, d'autres éléments encore comme la sédentarité ou la réduction des activités sportives.

Dans le cadre de mes recherches, j'ai pu constater une évolution assez fulgurante des composantes organisationnelles psychosociales et physiques du monde du travail générées par la transition numérique, qui ont évidemment des impacts forts sur la santé.

On va ainsi pouvoir relever l'évolution des contraintes horaires, ou encore le manque de moyens matériels ou des outils peu adaptés au métier en évolution des travailleurs.

Quant aux composantes psychosociales, nous relèverons la forte demande psychologique que peut nécessiter l'outil informatique et la faible latitude décisionnelle, donc la faible autonomie du travailleur.

Sur les composantes physiques, nous ne pouvons que rappeler les contraintes posturales et les troubles musculo-squelettiques, régulièrement relevés dans les contentieux.

Nous devons à mon sens établir une différence entre l'outil et l'usage que l'on en fait dans le monde du travail, car c'est ce dernier qui aura des impacts sur la santé des travailleurs.

Lors de mes travaux de thèse, j'ai relevé deux grands champs de risques que j'ai appelés « autonomes » : les surcharges et la sous-charge de travail ; les premiers peuvent être d'origine matérielle ou organisationnelle (nuisances sonores ou visuelles, exigences temporelles notamment liées à des interruptions permanentes, isolement social, etc.). Les impacts pourront être des cas de troubles anxieux pouvant aller jusqu'à l'épuisement professionnel, du stress chronique ou des syndromes dépressifs, etc. La surcharge de travail peut aussi avoir comme effet la survenance d'accidents de travail, l'émergence de maladies cardiovasculaires et un risque de suicide chez certains salariés.

La sous-charge est d'origine plutôt matérielle, par l'utilisation d'un outil informatique mal ou pas du tout adapté au travail demandé, le salarié étant très souvent mené à l'épuisement professionnel, en perdant son temps par l'utilisation de systèmes très lents ou inadaptés. Nous retrouverons dans ce cas de figure les mêmes impacts que précédemment cités.

L'évolution de la charge de travail à l'ère du numérique peut également être un élément d'indice dans des situations de harcèlement moral.

Au plan juridique, il faut savoir que l'encadrement réglementaire de la charge de travail à l'ère du numérique s'inscrit dans le droit fondamental consistant à protéger la santé du salarié, précisé à l'alinéa 11 de la constitution de 1946 prévoyant que chaque travailleur a droit à la protection de sa santé, à la sécurité matérielle, au repos et aux loisirs.

Pour sa part, l'article 151 du traité de fonctionnement de l'Union européenne se réfère à la charte sociale européenne rédigée en 1996, indiquant que tous les travailleurs ont le droit à la sécurité et à l'hygiène dans le travail. Ce même article se réfère à la charte communautaire des droits sociaux fondamentaux de 1989, affirmant que tout travailleur, dans son milieu de travail, doit bénéficier des conditions satisfaisantes de protection de sa santé et de sa sécurité, des mesures adéquates devant être prises en compte pour poursuivre l'harmonisation des progrès et des conditions existantes dans ce domaine, mesures qui comprendront notamment la nécessité d'une formation, d'une information-consultation et d'une participation équilibrée des travailleurs en ce qui concerne les risques encourus et les mesures prises pour supprimer ou réduire ces risques. Le numérique s'insère clairement dans ce schéma-là.

Le Code du travail prévoit aussi une obligation de sécurité très générale du travailleur, un point étant fondamental à mes yeux, à savoir *le principe d'adaptation du travail à l'homme*, et non l'inverse. Il faut se saisir de ce principe pour protéger la santé des travailleurs d'un usage abusif du numérique.

L'employeur doit assurer la protection de la santé physique comme de la santé mentale des travailleurs. Les systèmes de protection mis en place sont à mon sens insuffisants sur ce thème, le Code du travail étant relativement désuet par rapport au numérique, à la robotisation et aux nouvelles technologies, même si apparaissent ici ou là des notions de travail sur écran. Il faudrait en

tout cas former, bien plus que ce n'est actuellement le cas, les travailleurs aux nouvelles technologies lorsqu'elles sont introduites ou évoluent dans l'entreprise.

L'idée serait, à mon sens, de proposer par le biais d'une loi, pour les branches professionnelles volontaires (métallurgie, industrie pharmaceutique par exemple), de prendre en charge ce sujet, de créer des outils à partir des données empiriques que ces mêmes branches possèderaient sur l'usage du numérique. Il faudrait de la sorte parvenir à créer un outil adapté au cœur de métier, puis le dupliquer dans les entreprises et au niveau des salariés. Une fois que ce dispositif aura été mis en place au niveau de deux ou trois branches volontaires assez importantes, il s'agira de l'adapter à d'autres cœurs de métier. Ces outils devront nécessairement engendrer de la sensibilisation, de l'information mais aussi de la formation, autant d'actions de prévention fondamentale des travailleurs, prévues au titre du Code du travail.

Nous devons également veiller à apporter une définition de la charge de travail à l'ère du numérique dans le Code de travail, même si, certes utile, cette définition pourrait s'avérer risquée, en raison d'une possible définition *a minima* de ladite charge de travail. Il faut donc bien plutôt veiller à se doter d'un outil opérationnel et répondant bien aux problématiques réelles de terrain, et en fonction bien sûr des objectifs économiques en vigueur au sein des entreprises. Je pense qu'en considérant ce sujet-là de façon beaucoup plus systémique que ce n'est le cas, nous pourrions atteindre beaucoup plus d'entreprises, le sujet de la santé au travail concernant tout le monde, tous les secteurs et toutes les activités.

Applaudissements.

Jean-Michel COSTES, Socio-épidémiologiste, chercheur associé à la chaire de recherche sur le jeu de l'Université Concordia à Montréal¹³

Je vais aborder la problématique des enjeux de santé publique dans le domaine des jeux en ligne, même si je tiendrai des propos qui, pour la plupart, seront assez englobants sur l'ensemble des jeux.

Je vais évoquer deux espaces ludiques assez différents : tout d'abord, les jeux d'argent et de hasard, puis les autres jeux. Remarquons tout d'abord que le jeu peut être défini comme *une activité libre ou non imposée ne visant aucune fin utilitaire et à laquelle on s'adonne pour se divertir et tirer un plaisir*. Les Anglo-Saxons différencient d'emblée deux concepts qui sont le « *gaming* » et le « *gambling* », la langue française associant malheureusement les jeux d'argent aux jeux. Cette confusion est assez problématique, puisque nous avons affirmé que le jeu instituait un espace de liberté hors des contingences de la réalité, alors même que l'introduction de l'argent, elle, est par définition la chose la plus concrète qui soit. J'utiliserai donc ces deux termes afin de différencier ces espaces qui sont très différents l'un de l'autre.

Ces espaces connaissent, depuis des années, un mouvement de numérisation, à savoir une digitalisation non seulement des supports mais des pratiques ; cette numérisation va avoir un impact encore très peu mesuré mais tout à fait profond sur ces pratiques.

Tout d'abord, c'est la permanence du jeu qui va être considérablement renforcée, comme le montre l'exemple des jeux dits « *free-to-play* » sur les téléphones portables : le jeu va venir remplir tous les espaces libres des personnes, le joueur se trouvant de fait en contact permanent avec son jeu, et cela d'autant plus que le modèle économique en cause génère une addiction. En effet, l'accès de ce

¹³ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

type de jeu est, en théorie du moins, gratuit, mais il faudra quand même bien monétiser quelque chose, à savoir le temps, en créant des dynamiques de jeu qui sont intrinsèquement très addictogènes.

La pratique sociale de ces jeux est extrêmement répandue, puisque l'on estime que ce sont environ 7 personnes sur 10, âgées de 10 ans et plus, en 2019 et en France, qui ont joué à des jeux numériques (« *gaming* ») ; environ 5 personnes sur 10, en population adulte de 18 à 75 ans et toujours en France, pratiquent, elles, des jeux d'argent et de hasard (« *gambling* »).

On évalue, en 2019-2020 et toujours en France, que le chiffre d'affaires des jeux vidéo atteint 5,5 milliards d'euros, alors que celui des jeux d'argent et de hasard s'élève à 10,7 milliards d'euros, dont 25 % sont réalisés *via* le numérique. Ces chiffres atteignent pour le monde des centaines de milliards !

Ces jeux sont un bien de consommation très particulier, la loi ayant légalisé les jeux d'argent à titre d'exception ; en effet, ces biens de consommation peuvent générer du plaisir, mais également des conséquences sanitaires et sociales dommageables. C'est pour cela que l'État a introduit une régulation forte et des contraintes spécifiques.

J'évoquerai maintenant les grandes pratiques des jeux d'argent et de hasard (jeux de loterie, très majoritaire avec près de 50 % du chiffre d'affaires, suivis par les paris sportifs, les paris hippiques et les jeux de casino incluant les machines à sous). Nous avons indiqué, dans la présentation projetée à l'écran, le support matériel traditionnel en point de vente et le support en ligne qui représente en 2021 25 % du chiffre d'affaires global, connaissant une très forte croissance ; on estime qu'entre 2025 et 2030, le jeu en ligne deviendra sans doute majoritaire dans le domaine des jeux d'argent.

Nous avons représenté sur un graphique les jeux pratiqués en ligne, comme les jeux de loterie, mais aussi les paris sportifs et toute une série d'activités appartenant à une offre non régulée, non prévue par la loi, regroupant notamment les pratiques de machines à sous et celles des jeux de casino.

Deux enquêtes nationales ont été menées en 2017 et 2021, qui montrent une croissance véritablement très forte des paris sportifs et également des jeux pratiqués sur l'offre non régulée.

Comment abordons-nous les enjeux de santé publique ? Il faut remarquer que la France a connu une approche assez particulière et déformante, qui est l'approche médicale, assez pathologisante quant aux problèmes générés par les jeux et centrée sur la question des dommages psychologiques ou psychiatriques. Peu ou prou, tous les outils et échelles validés (DSM-5 ou SOGS) sont issus de la psychologie ou de la psychiatrie nord-américaine.

Cette catégorisation n'est pas sans poser des problèmes pour les jeux d'argent et est contestée par certains experts, car elle est issue du domaine de l'alcoolisme, les critères (sevrage, tolérance, mensonge, etc.) de cette maladie chronique étant transférés aux pratiques excessives en matière de jeu d'argent et de hasard, mais aussi de « *gaming* ».

C'est pour cela que les experts en santé publique se dirigent vers une approche beaucoup plus englobante, centrée sur les dommages dans leur globalité, qu'il s'agisse des dommages sociaux (comme le surendettement, la rupture professionnelle et/ou familiale, etc.) et/ou personnels.

Les pratiques problématiques des jeux d'argent ont trait à des comportements dans lesquels les joueurs expérimentent une perte de contrôle, nécessitant un besoin d'aide, avec des dommages avérés ; les pratiques dites à risques, elles, impliquent des prises de risques pouvant conduire à des dommages qui ne surviennent pas forcément au moment où les personnes sont interrogées.

Parmi l'ensemble des joueurs, soit environ près de 50 % de la population adulte, des prévalences ont été mises en relief à 1,7 % pour les joueurs excessifs et à 4,3 % pour les pratiques à risque modéré. Vous pouvez constater que les pratiques problématiques en ligne sont, *grosso modo*, deux fois plus importantes que les pratiques problématiques en point de vente ou sur support traditionnel. En effet, les pratiques en ligne sont accessibles 24 heures sur 24 et sept jours sur sept, ce qui est pour le moins très différent que de se déplacer vers un casino parfois éloigné de plusieurs dizaines de kilomètres.

On voit une très forte augmentation, ces dernières années, des pratiques excessives et des pratiques à risque modéré des joueurs en ligne, augmentation liée notamment au développement des paris sportifs.

Nous pouvons aussi constater une extrême concentration des dépenses ; en effet, dans les jeux d'argent, 1 % des joueurs génère environ 60 % du chiffre d'affaires. 40 % du chiffre d'affaires de l'industrie des jeux d'argent et de hasard proviennent des poches des joueurs qui sont en difficulté avec ces pratiques, ce qui pose évidemment la question de la régulation.

Dans une perspective d'évaluation des politiques publiques, *via* les études économiques de type coût/bénéfice pour l'individu et pour la filière des jeux d'argent (notons que l'État récupère des taxes de façon assez substantielle), on constate une « désutilité » sociale, le coût/bénéfice concerné étant largement négatif, estimé à 7 milliards d'euros. Il faudrait certes nuancer ce propos en fonction des filières de jeux.

Quand on considère de façon plus globale la question des dommages, on constate que leur masse principale est générée par les joueurs à faible risque, illustration parfaite de ce que l'on appelle en santé publique le *paradoxe de la prévention* ; en effet, un petit risque appliqué à une très grande population générera, *in fine*, un très gros risque.

Nous remarquons aussi que le fait de s'intéresser de manière exclusive à l'addiction ne concerne que 18 % du problème, bien d'autres dommages devant donc être pris en compte.

La question du « *gaming* » est encore très peu explorée, mais une étude récente a étudié le domaine du « *free-to-play* », autrement dit les jeux vidéo largement diffusés sur les téléphones portables, puisque pratiqués par 7 Français sur 10 sur un échantillon de 5 000 personnes. Cette pratique reste assez occasionnelle majoritairement, même si la fréquence et la durée de jeu peut être élevée pour un tiers de la population ; on s'est demandé si les gens dépensaient de l'argent sur ces jeux, ce qui est le cas pour un quart d'entre eux. Beaucoup d'entre eux jouent aussi à des jeux d'argent et de hasard. Les usages problématiques de jeu ont été estimés à 7 % mais, compte tenu des réserves que je porte sur l'outil, ce n'est pas le point essentiel, qui tient à mes yeux aux facteurs de risque. Nous avons ainsi constaté qu'en dehors de certaines motivations comme celle de s'échapper de la vie réelle, un facteur absolument prédictif et essentiel apparaissait dans l'émergence d'usages problématiques, à savoir la dépense de l'argent, en passant du « *free-to-play* » au « *pay-to-win* » :

le joueur paie pour pouvoir jouer plus et/ou être plus performant dans le jeu ce qui constitue la base du modèle économique de nombreux jeux récents.

En guise de conclusion, les enjeux de santé publique concernant les jeux d'argent et de hasard sont assez bien documentés, ce qui n'est pas le cas sur le « *gaming* », où nous sommes quasiment aveugles, la recherche restant complètement à développer.

Ajoutons que la régulation des jeux d'argent doit tenir compte, d'une part, d'un impératif économique, et aussi d'un objectif de santé publique qui, dans la loi, est clairement affiché. Le régulateur essaie de mettre en avant cet impératif de santé publique, mais se heurte à trois écueils principaux, le premier étant celui de la croissance, mot-clé pour l'économie. Or, chaque fois que l'on augmente le chiffre d'affaires, on génère beaucoup plus de problèmes. On observe donc une antinomie entre croissance et réduction des problèmes de jeu.

Le deuxième écueil concerne l'addiction, sur laquelle on est restés trop centrés ; il faut remplacer cette vision très stigmatisante par une approche beaucoup plus globale concernant l'ensemble des dommages.

Le troisième écueil est la question de la responsabilité, les opérateurs ayant assez habilement fait reposer cette dernière sur le joueur. Or, la question essentielle, pour le régulateur, consiste à mon sens à déplacer la responsabilité principale sur les opérateurs, car une politique responsable sur les jeux d'argent viserait à essayer de mettre sur le marché une offre de jeux la moins problématique possible.

Applaudissements.

Discussion

Martin RÉMONDET

Il me semble que l'on pouvait se faire interdire de casino quand on avait tendance à y dépenser beaucoup d'argent ; je me demande s'il en est de même pour les jeux en ligne.

Jean-Michel COSTES

Oui, tout à fait, puisque la régulation a été complètement modifiée voici quatre ans, avec la mise en place d'une autorité unique, à savoir l'Autorité nationale des jeux (ou ANJ) contre, auparavant, une structure en silo. Un des leviers que possède cette autorité est la gestion du fichier des personnes en ligne, commun aux casinos et aux jeux en ligne.

Francelyne MARANO

Merci pour cet exposé, aussi passionnant que l'avait été votre audition. J'ai deux questions. Avez-vous, pour les jeux d'argent en ligne, des indications sur le sexe et les tranches d'âge ? Ensuite, est-ce que l'on sait à quel âge les enfants commencent à jouer à des jeux vidéo ?

Serge TISSERON, Psychiatre et membre de l'Académie des technologies

Il semblerait que la tendance actuelle consiste à racheter des entreprises de jeu vidéo par des entreprises de jeux de hasard, afin de pouvoir créer des jeux vidéo qui donneraient la possibilité de gagner de l'argent.

André-Jean GUÉRIN

Le domaine du jeu est par nature destiné à l'enfant : avons-nous des indices nous permettant de dire que le déploiement du numérique favorise le fait que le jeu passe de façon accrue du domaine de l'enfance à celui de l'adulte ? Si d'aventure c'était le cas, est-ce que le fait que le numérique favorise des jeux solitaires, donc désocialisés, aurait un rôle ?

Isabella ANNESI-MAESANO

J'aurais aimé évoquer la question des inégalités sociales, en me demandant si, par le biais de possibles indicateurs, il serait permis de montrer qu'il y aurait une consommation plus importante suivant les catégories sociales.

Jean-Michel COSTES

Les jeux en ligne attirent des joueurs plus jeunes, mais il faudrait remarquer que les jeux d'argent et les paris sportifs attirent des publics totalement différents, avec par exemple une prédominance d'hommes. Du point de vue du capital social et culturel, cette population est plus « riche » que celle des joueurs de jeux traditionnels.

Oui, des inégalités sociales très fortes existent dans les jeux d'argent et de hasard ; ainsi, les jeux de loterie attirent des milieux très modestes, raison pour laquelle se pose une problématique sociétale, puisqu'il faudrait se demander s'il est juste de laisser se développer une pratique relevant de l'impôt régressif, car plus vous êtes pauvres, plus vous payez d'impôt.

La précarité culturelle et sociale est un marqueur vraiment fort, comme dans toutes les addictions. Remarquons que les campagnes publicitaires de jeux en ligne visent très clairement des personnes jeunes, et il faut noter qu'elles ont été, pour la première fois, interdites, même si cela n'a été fait que trop tardivement à mon sens.

Des enquêtes épidémiologiques montrent qu'un tiers des mineurs jouent à des jeux de loterie et à des paris sportifs ; là encore, il faudrait nuancer les facteurs prédictifs des problèmes de jeux, car les prévalences de jeux problématiques sont encore plus importantes chez les mineurs. Voilà qui est du reste bien normal, puisque l'âge est aussi un facteur de risque.

Le jeu qui est, comme je l'ai défini, une activité libre non imposée ne visant à aucune fin utilitaire pour se divertir et tirer un plaisir, ne peut qu'avoir un rôle social très fort mais le modèle économique dominant du « *free-to-play* » pervertit ces critères, créant de l'addiction et faisant glisser les gens vers le « *pay-to-win* ».

Nous essayons de travailler sur la zone grise séparant le « *gaming* » du « *gambling* » ; l'une de ces zones grises est le « *pay-to-win* », avec des jeux appartenant à la première catégorie, mais dans lesquels on introduit des jeux d'argent. Nous constatons aussi une « *gamification* » des jeux d'argent, très régulés à la différence du « *gaming* », comme le montre l'exemple des jeux NFT ou (« *Non Fungible Token* »).

Enfin, le basculement décrit par Serge Tisseron montre qu'il est en effet très tentant de faire basculer le « *gaming* » vers des jeux d'argent.

Francelyne MARANO

J'aimerais savoir comment il serait possible créer des outils de mesure de la charge de travail.

Sébastien DEMAY

Les outils vont évidemment dépendre du cœur de métier ; concernant le contrôle du télétravail, notons l'apparition immédiate des questions d'atteinte à la vie privée ou bien de l'hyper-contrôle de l'employeur sur l'exercice du travailleur autonome. Il faudrait donc avancer en amont sur la possibilité d'être à même de pouvoir contrôler un travailleur à distance, qu'il soit autonome ou pas.

Dans certaines entreprises, des outils adaptés existent, par la mise en place d'un environnement composé de chercheurs travaillant dans plusieurs domaines, afin par exemple de prévenir des cas de suicide. Ajoutons aussi la mise en place du droit à la déconnexion par la loi sur le travail datant de 2016, avec le contrôle du nombre de courriels envoyés en dehors des périodes de travail, ces mesures étant adaptées puisqu'il est possible de jongler sur les horaires en fonction du statut et du métier du travailleur.

D'autres outils existent, même si le droit à la déconnexion est assez complexe, la plupart des entreprises ne sachant trop, d'ailleurs, comment s'en saisir. Il faut en tout cas que le travailleur ait conscience qu'il peut réaliser un nombre d'heures tout à fait déraisonnable, et soit en mesure de dire stop, pas forcément à son manager direct mais à des personnes identifiées comme des relais sur ces questions au sein des entreprises.

De la même manière, un accord collectif peut être considéré comme un outil juridique, grâce auquel l'entreprise aurait une approche structurelle de la santé au travail, en englobant par exemple la question du télétravail, des RPS ou du droit à la déconnexion, sans oublier des actions de formation et de suivi avec les partenaires sociaux. Il ne faudrait pas hésiter, au cas où ces actions ne seraient pas mises en place, à instaurer un système de véritables sanctions à l'encontre des employeurs qui ne respecteraient pas ces dispositions.

André-Jean GUÉRIN

En parlant de l'addiction des travailleurs au travail, je me demande si la complexité croissante des processus de scénarisation des jeux vidéo, par exemple, ou bien des techniques de programmation propre au secteur du numérique, ne serait pas susceptible de provoquer des phénomènes d'addiction.

Sébastien DEMAY

En fonction des objectifs de performance fixés, presque toujours d'ordre financier, le travailleur estimera qu'il lui faudra davantage travailler pour gagner plus. Cette question pose celle de la charge de travail dite subjective, un travailleur, désireux de donner du sens à son travail aura tendance à travailler davantage ; des réflexions sont menées sur ces problématiques, même si elles sont encore assez disparates.

V. Quatrième table ronde : Environnement numérique et relations sociales

*Introduction*¹⁴

Philippe BOUDES, Sociologue, Enseignant Chercheur, Institut Agro Rennes Angers & UMR CNRS Espaces et Société

Nous avons développé, dans le rapport du Comité, différents points, notamment l'évolution de l'accès à Internet dans la population, l'impact sur les relations sociales de l'avènement du numérique et ses enjeux en termes de développement, ou encore les multiples enjeux selon les différents âges de la vie. Nous avons aussi, dans cette même partie, développé la question de l'accessibilité du numérique et celle de la médecine vétérinaire que nous n'évoquerons pas durant cette table ronde.

Nous connaissons tous l'expression de « fracture numérique » qui rappelle que, dans notre société, des inégalités existent et sont bien évidemment présentes dans le numérique. Il ne faudrait pas se laisser impressionner par le numérique qui pourrait être compris comme neutre, car il représente en quelque sorte une institution sociale comme les autres.

Ainsi, l'âge est déterminant dans la possession d'outils permettant d'accéder à Internet, comme l'a montré une étude de l'Insee publiée en 2019 ; 53 % des personnes de plus de 75 ans n'ont, ainsi, pas d'équipement, contre seulement 2 % des 15-19 ans.

Les inégalités dépendent également des orientations socio-démographiques des pratiques, mais varient aussi en fonction de l'illectronisme, je reviendrai sur ce terme, qui renforce l'exclusion des individus ; ce sont ainsi quelque 17 % de la population qui souffrent d'illectronisme, ces inégalités concernant 16 % des ménages les plus pauvres.

Dans cette fracture numérique, nous ne devons pas oublier de souligner la place de ce qui est appelé *l'illectronisme*, autrement dit la part de la population avec ou sans équipement mais qui, surtout, n'a aucune compétence numérique, et n'est donc pas en mesure de se servir d'un potentiel équipement.

Comme je l'ai dit, 17 % de la population est concernée par l'illectronisme ; ce sont de nouveaux les ménages les plus pauvres qui sont touchés, à hauteur de 16 %, contre 4 % des plus riches, les individus peu ou pas diplômés y étant qui plus est surreprésentés, puisqu'ils représentent 34 % de la population touchée par cet illectronisme, alors qu'ils ne représentent que 22 % de la population.

Le numérique est de ce fait souvent décrit comme étant excluant plutôt qu'intégrateur ; une famille modeste sur quatre n'a pas l'équipement numérique nécessaire pour la scolarité de son enfant.

Nous avons aussi évoqué la question de la violence, par le biais de la cyberviolence et du cyberharcèlement, en constatant que l'intérêt des chercheurs semblait plus marqué pour les jeunes, peut-être en raison d'un plus grand nombre d'études sur cette catégorie, ou alors parce que ces derniers sont davantage en possession d'outils leur permettant d'accéder à Internet. Les travaux consultés montrent que cette cyberviolence est concomitante avec des violences dans la vie réelle ; cela signifie qu'il n'y a donc pas de nouvel accès de violence à cause des technologies du numérique car ce dernier, s'inscrivant dans la vie sociale normale, reproduit, malheureusement, les problématiques de nos sociétés.

En 2010, une étude a été publiée, s'intéressant aux caractéristiques des protagonistes de ces situations de violence, qu'il s'agisse de victimes ou d'agresseurs ; or, les agresseurs en ligne semblent

¹⁴ Cette intervention était accompagnée d'une présentation visuelle (disponible sur le site du CPP)

être plus souvent agresseurs dans la vie réelle, mais sont aussi fréquemment impliqués dans ce type de violence comme victime. C'est parce qu'il y a un contexte de violence que cette dernière se déplace également sur le terrain du numérique.

Je trouve que ces problématiques sont pour l'heure assez difficiles à interpréter car nous semblons constater une forme d'« augmentation » des cyberviolences qui se substituerait à d'autres violences ; il n'y a peut-être pas plus de violence et de harcèlement, mais celles-ci sont davantage médiatisées par les outils numériques.

Dans ce rapport, nous avons insisté sur le fait que le numérique n'était pas neutre et, même, qu'il produisait des contre-effets, certaines études montrant que les réseaux sociaux amoindrissaient le bien-être psychologique des individus. Le numérique génère de l'exclusion concernant les personnes âgées mais aussi celles à faible niveau de ressources, comme nous l'avons dit.

Nous avons, dans notre rapport, abordé la question grave du taux de suicide, toutefois constant depuis les années 2000 alors que, depuis cette date, les outils numériques ont été largement déployés ; nous ne pouvons donc pas dire que le numérique aurait conduit à une augmentation de ce taux.

Notre rapport à la connaissance a été affecté par le numérique, qu'il s'agisse des problématiques de « *big data* » ou de « *fake news* ».

En fait, le numérique reproduit les configurations existantes plus qu'il ne les produit ; ce point revient souvent dans les différents travaux que nous avons mobilisés dans notre réflexion. Certes, le numérique génère de nouvelles configurations sociales, comme les réseaux sociaux ou les conférences à distance, mais il reprend peu ou prou les codes de l'interaction sociale. *Il réactualise en fait l'idéologie du progrès scientifique et technique et celle de la performance du marché.*

Nous avons établi plusieurs recommandations, tout en ayant rappelé le contexte légal qui a évolué depuis le début de nos travaux, comme le montre l'exemple de la loi Schiappa. Nous avons aussi constaté la prééminence d'arguments fondés sur la « normalité » du développement de ces technologies, par le biais d'un processus historique allant de lui-même et qu'il ne faudrait pas remettre en question.

La partie que nous avons consacrée à la thématique du numérique et des âges de la vie est surtout riche quant à l'enfance, peut-être parce que ce sujet nous préoccupe plus, les enfants s'approprient aussi, de plus en plus rapidement et tôt, ces outils, sans que nous n'en mesurons toujours bien les conséquences. Nous sommes revenus sur la nécessité de comprendre et d'anticiper les modifications neuropsychologiques liées aux numériques ; ce n'est pas forcément parce que l'on naît dans une société numérique que l'on aborde une position réflexive sur ces usages. C'est peut-être même le contraire que nous pouvons constater ! Ce sont ainsi 96 % des enfants qui possèdent ou utilisent au moins un équipement numérique, en 2023 et en France, avec un risque réel de surexposition ; ils y passent en moyenne 1 heure 19 par jour en semaine, et un peu plus de 2 heures les jours de week-end. Cette donnée devrait être complétée à mon sens par le temps passé devant les écrans de télévision.

Comme Serge Tisseron l'a indiqué sur son blog en parlant de TikTok et de « TikTokisation du monde », « les modes et les manières d'exister sur la plateforme s'imposent dans tous les domaines de la vie sociale et culturelle »¹⁵. Ces groupes sociaux exercent une véritable influence sur nos sociétés, du reste assez mal mesurée.

Nous avons bien sûr mentionné les risques professionnels en termes biophysiques ou sociaux-psychologiques, mais avons surtout insisté sur la nécessité d'approfondir les recherches et les diagnostics, car tout n'est pas si clair que cela dans ce domaine ! Notre lecture a été assez ouverte, sans être forcément critique, afin de mieux comprendre le potentiel de ces outils du numérique, en nous demandant, par exemple, comment il serait possible de mieux promouvoir l'intégration du numérique dans une démarche éducative globale.

Nous avons peut-être un peu moins exploré des pistes « *bottom-up* », consistant à réfléchir, à partir de l'appropriation sociale du numérique par différents collectifs comme les logiciels libres ou des possibilités de contre-culture.

Applaudissements.

Serge TISSERON, Psychiatre et membre de l'Académie des technologies

J'ai plutôt tendance à considérer le numérique comme une sorte de *loupe* ; un certain nombre de problèmes que nous connaissons se trouvent, tout d'un coup, prendre une importance beaucoup plus grande du fait que le numérique décuple les possibilités, et donne beaucoup plus d'échos aux impossibilités. Le numérique va ainsi aggraver ou majorer des difficultés relationnelles au sein des familles, dans les couples, des inégalités sociales ou psychologiques, ou encore des stratégies de manipulation.

Il est intéressant de constater que la fracture numérique a été d'abord rapportée à une fracture sociale, mais l'on a compris que, dans certains milieux défavorisés, ces outils numériques pouvaient être utilisés ; on a ensuite parlé de fracture générationnelle, mais l'on a alors constaté, vers 2010, que les enfants nés avec le numérique ou même les *enfants du numérique* (ou « *digital natives* ») n'en étaient, en fait, pas réellement. Ainsi, il faut absolument tordre le cou à ce mythe : il faut en effet bien comprendre qu'un grand nombre d'adolescents font illusion auprès de leurs parents, car ils tournent en rond sans leur smartphone et, avec lui, ne font que refaire ce qu'ils ont compris. Je suis ainsi sidéré que des enfants utilisant des smartphones n'éprouvent jamais la curiosité de consulter des bases de données, comme si elles n'existaient pas, puisqu'ils se contentent de naviguer sur les seuls réseaux sociaux.

Le cyber-harcèlement redouble le harcèlement ; il élargit le harcèlement à tous les moments de la vie mais, aussi, à des inconnus. Les stratégies utilisées pour lutter contre celui-ci, notamment la méthode de la *préoccupation partagée*, se heurtent à la difficulté de ne pas pouvoir agir sur ces inconnus. Il faut donc pratiquer de la prévention auprès des élèves, comme le montrent les initiatives telles que *3-6-9-12+* dont je suis à l'origine¹⁶, ou encore *Le Jeu des trois figures*¹⁷.

¹⁵ Voir : <https://sergetisseron.com/blog/la-tiktoknisation-du-monde/>

¹⁶ Voir : <https://www.3-6-9-12.org/>

¹⁷ Voir : <https://3figures.org/>

Voici une vingtaine d'années, il avait été remarqué que des enfants déscolarisés passaient beaucoup de temps à jouer à des jeux vidéo et on a pensé, à tort, que seule l'attractivité de ces derniers était en cause ; or, on a fini par comprendre que c'est parce que ces enfants avaient été harcelés à l'école qu'ils s'étaient réfugiés, chez eux, dans les jeux vidéo.

Les réseaux sociaux posent la question de leur mésusage, leur bon usage ayant du reste été analysé dans un rapport de l'UNICEF qui évoque une utilisation dite « Boucle d'or » ; en quelque sorte, les adolescents font du numérique un usage conforme à leurs besoins. Ce même rapport insiste aussi sur le fait que les réseaux sociaux permettent à une majorité d'adolescents de cultiver leurs amitiés, sans même chercher à s'en faire de nouvelles, à la différence de ce qui peut être observé chez les adultes. Il faut toutefois nuancer ces propos en constatant que ces mêmes adolescents, surtout le week-end, ne disposent plus d'espaces à l'air libre où ils pourraient se retrouver, et utilisent en conséquence les outils numériques.

Il faut donc prendre en compte les quiproquos que provoque l'utilisation d'Internet ; nous essayons d'alerter sur cette question qui à mes yeux est le mésusage principal propre à l'utilisation des réseaux sociaux par les adolescents. D'autres questions se posent bien sûr, comme les inégalités sociales, les parents des couches aisées ayant tendance à accompagner leurs enfants dans l'apprentissage des outils numériques à la différence des parents de couches moins aisées, mais aussi des problèmes de maltraitance précoce.

Après les quiproquos, les inégalités sociales ou les maltraitances précoces, explicites ou implicites, nous trouvons les stratégies des fabricants, avec des « algorithmes scélérats » enfermant les usagers dans des chambres d'écho. Les réseaux sociaux ont d'une certaine façon un intérêt *indirect* à ce que les messages soient haineux, car ils se développent alors plus vite. En effet, les chercheurs en « captologie » (ou science de la capture des données) ont montré que les personnes étaient d'autant plus enclines à échanger des informations avec d'autres personnes partageant les mêmes centres d'intérêt ; ainsi, les réseaux sociaux ont pour intérêt de regrouper les personnes par grandes affinités pour augmenter le trafic à l'intérieur de ces groupes ou bulles, dans lesquels les discussions pourront se développer sans point de vue extérieur ou contradiction, d'où l'exacerbation de leur violence. De fait, tant que les réseaux sociaux auront pour seul modèle économique une augmentation du trafic pour accroître la capture des données, il sera inévitable que les gens soient enfermés dans des filets, des bulles ou des chambres d'écho, les messages haineux ne pouvant alors que devenir de plus en plus caricaturaux et débridés.

C'est d'ailleurs un énorme problème, qui rebondit avec les IA ; ainsi, les robots conversationnels ne faisant que s'aligner sur l'état des lieux des échanges, ils seront à leur tour nourris de violence.

L'avis des experts a beaucoup changé depuis une dizaine d'années quant à l'influence des écrans sur les enfants ; ainsi, l'Académie américaine de pédiatrie (ou AAP, *American Academy of Pediatrics*) a déclaré en 2016 qu'il était avant tout important d'accompagner les programmes et de savoir utiliser les outils du numérique alors qu'elle y était auparavant assez farouchement opposée. Nous pourrions observer le même phénomène avec la « théorie de la substitution », selon laquelle chaque minute passée devant un écran pour un enfant est une minute perdue pour son développement. Cette théorie a été abandonnée, et l'on a davantage pris en compte la manière

dont le temps d'écran, et cela quel que soit l'âge, était intégré dans la vie de l'enfant, et de quelle manière ce dernier était, ou pas, accompagné. Cette approche est essentielle car elle a fait apparaître l'importance des disparités sociales.

Applaudissements.

Discussion

Philippe BOUDES

J'aurais aimé que vous évoquiez la campagne *Je protège mon enfant* que vous avez abordée par le biais d'une tribune au journal *Le Monde*.

Serge TISSERON

En fait, j'ai évoqué cette question mais à propos de la loi Janvier¹⁸, votée par les députés, quasiment à l'unanimité ; il est clair que les politiques auraient dû depuis longtemps se préoccuper de la question de l'exposition excessive des enfants aux écrans. Cette loi contient de bons éléments, demandés par tous les experts depuis pratiquement vingt ans comme la formation des pédiatres et du personnel soignant, ou encore des campagnes d'information sur les produits numériques, etc.

En revanche, d'autres points sont plus problématiques, comme le fait d'inscrire cette loi dans le cadre de la lutte contre la toxicomanie et l'alcoolisme, ce qui est parfaitement absurde car les cas d'addiction aux jeux vidéo sont rarissimes, puisqu'ils impliquent l'apparition de troubles psychiatriques associés, le « *gaming disorder* » lui-même ne consistant qu'en une alerte, comme c'est aussi le cas de la notion, elle-même très discutée, d'« addiction comportementale ». Qui plus est, beaucoup de personnes, surtout des garçons, qui pouvaient être considérés, durant leur adolescence, comme des joueurs problématiques de jeux vidéo, ne le sont plus une fois le cap de l'adolescence passé, sauf comorbidités bien sûr, mais la proportion est alors très réduite.

En outre, l'essentiel de la prévention des usages problématiques des outils numériques par les jeunes enfants consiste à proposer des alternatives, qui ne relèvent pas du pouvoir central mais du pouvoir des villes ; il faudrait ainsi que les parents, qui sont en même temps des électeurs, questionnent constamment leurs élus pour savoir ce qu'ils comptent mettre en place pour offrir aux enfants et aux adolescents une réelle alternative aux écrans.

Francelyne MARANO

Que pouvons-nous faire, nous, experts, pour inciter les personnes ayant en charge la gestion de nos villes ? Il faudrait que des personnes comme vous puissent inciter les élus, pour les sensibiliser aux problématiques que vous venez de soulever !

Serge TISSERON

Cela bouge un peu, comme le montre l'exemple parisien des Cours Oasis ; le problème essentiel réside dans le fait que seuls 5 % d'entre elles sont ouvertes à la population, et encore, seulement le samedi après-midi, du fait de la cherté de ce dispositif. Il n'en reste pas moins qu'il y a peu d'anticipation sur ces problématiques car le pouvoir public fonctionne à flux tendu, et ne semble se préoccuper que des seuls problèmes « chauds », au détriment des problèmes « tièdes ».

¹⁸ Voir : <https://sergetisseron.com/blog/la-proposition-se-loi-sur-lexposition-excessive-des-enfants-aux-ecrans-risque-de-se-transformer-en-loi-de-bonne-conscience-version-longue-du-texte-paru-dans-le-monde-du-24-mars-2023/>

Applaudissements.

VI. Synthèse et recommandations du CPP

Philippe HUBERT

Nous terminons à présent cette journée consacrée à la santé publique et à l'environnement numérique, un travail commencé vers 2018, avec une anticipation assez forte par rapport à la situation actuelle, ne serait-ce qu'en raison de la crise sanitaire ayant imposé les outils numériques comme façon de vivre.

Nous avons évoqué plusieurs thématiques dans notre avis, en commençant par noter que le numérique était un monde perçu comme immatériel, ce qui n'est évidemment pas vrai du tout. Nous avons abordé la question du *matériel du dématérialisé*, soit les objets et les usages du numérique, sans oublier les ressources et les impacts, mais aussi du *vivant du dématérialisé*, pour ainsi dire, avec l'aspect sociétal et psychologique de notre problématique.

Il me semble que l'on n'a pas parlé de la même façon des différents thèmes abordés, au vu des études disponibles ; c'est la raison pour laquelle nous avons estimé nécessaire de procéder à certains coups de projecteur. Les études sont parfois lacunaires, mais en revanche, plusieurs impacts sont assez directs et faciles à démontrer, comme les problématiques sur les ressources et l'énergie.

Nous avons vu apparaître une balance bénéfiques/risques, toutefois assez peu objectivée ; de la même manière, des lois ont été votées et des initiatives proposées, comme Madame Diane Simiu l'a rappelé, lesquelles n'ont pas donné, pour l'heure, des effets observables sur des tendances qui continuent à monter comme la marée monte.

Le CPP s'est en fait retrouvé face à une situation un peu tristement banale dans les travaux du CPP depuis son origine : le constat d'une disjonction entre une dynamique d'innovation et l'anticipation des impacts.

Quelques chiffres m'ont frappé, concernant l'aspect non soutenable d'une augmentation de 6 % des gaz à effet de serre, par rapport aux 2 % que nous rêvons tous d'atteindre ! Nous avons évoqué le besoin de créer une trajectoire de planification écologique, des connaissances sur la toxicité des terres rares, etc. Il faudrait aussi trouver des solutions pour rendre effective la sobriété numérique, qui est sur toutes les bouches mais pas dans tous les appareils.

J'ai également été frappé par la variété, pour ne pas dire la biodiversité voire un certain désordre pour ce qui est de la multitude d'axes de développement du numérique dans la santé, qu'il s'agisse de l'utilisation de l'IA sur l'imagerie, du partage des données, de la surveillance ou de la télémédecine, etc. La question sous-jacente de savoir si toutes ces technologies ont pour but d'améliorer la santé ou de mieux gérer le système de santé reste ouverte.

J'ai noté la proposition consistant à former des assistants digitaux pour aider les personnels de santé confrontés à des résultats numériques à interpréter.

Nous avons parlé d'exposome numérique, mais avec deux concepts différents : une notion désignant l'ensemble des traces et des données que nous générons en laissant des fragments de nos vies dans l'univers numérique (l'inverse étant aussi de mise), une autre qui inclue le numérique comme une composante à ajouter aux expositions physiques et chimiques de notre exposome environnemental.

Nous avons assez peu évoqué dans notre rapport les dimensions juridiques propres à l'utilisation des outils numériques dans le monde du travail. De la même manière, nous n'avons guère évoqué la question de l'hypersédentarité, l'absence de mouvements étant la quatrième cause de décès selon l'OMS, soit largement au-dessus de la pollution atmosphérique !

La question de la croissance des jeux en ligne a été traitée, dans laquelle nous avons évoqué la « tarte à la crème » qu'est la problématique de la fracture numérique ; le numérique crée ses propres inégalités, même si, comme cela a été dit, il est aussi reproducteur et amplificateur plus que producteur de situations sociétales. J'ai été intéressé par les propos concernant le mythe des « *digital natives* », que seraient les personnes nées avec le numérique et qui y évolueraient de façon fluide, mythe que de leur supposer une maîtrise de l'évolution puisque ce sont en fait des personnes qui ne sont que des opérateurs « non-sachants » ; il y a donc urgence à éduquer et sensibiliser sur ces questions.

Je me demande s'il y a beaucoup de points communs entre toutes ces thématiques, les regards étant extrêmement variés suivant que l'on considère les ressources, la santé ou la médecine ; seule certitude ou presque, nous sommes dans un « e-univers » en expansion, comme l'est l'univers physique. Nous ne sommes pas capables de placer des frontières précises entre les différents aspects du « numérique », même si nous avons organisé notre rapport entre quatre grandes catégories.

En tout cas, nous retrouvons dans notre réflexion la logique propre au CPP en termes de précaution et de prévention ; nous répétons depuis 27 ans qu'en cas de décision à prendre pour lancer une innovation, il *faut pratiquer une étude d'impact*, comme cela n'a du reste pas été le cas pour les nanoparticules ou les perturbateurs endocriniens. Il nous faut répéter ce point car, outre les actions de prévention et de précaution, nous devons appeler à un renforcement de la recherche, puisque dans le domaine qui nous occupe les opinions préconçues sont vraiment très nombreuses.

Comme pour le changement climatique, il me semble qu'une partie des propositions que nous avons émises, à propos de l'environnement numérique, ne relèvent pas de la précaution ni de la prévention, mais de *l'adaptation*.

Applaudissements.

Alain GRIMFELD

La dernière phrase de Philippe Hubert est absolument essentielle, car il nous faut assumer une logique d'adaptation ; nous pourrions établir à ce titre un parallèle avec l'exemple de la crise sanitaire récente, dans laquelle nous avons commencé par connaître une phase d'évitement, puis d'atténuation et enfin d'adaptation.

