

Projet d'Enseignement

Vers une Transition Environnementale de l'Enseignement du Numérique à L'Ensimag

Sylvain Bouveret

Grenoble INP, Ensimag
Laboratoire d'Informatique de Grenoble

16 janvier 2020

Résumé

Ce document pose les bases d'un projet pédagogique dédié à l'enseignement des impacts environnementaux du numérique à l'Ensimag. L'objectif du projet est d'aboutir à l'élaboration d'une offre d'enseignements intégrant véritablement les problématiques environnementales. Ces problématiques couvrent un spectre allant de l'analyse de la consommation électrique des équipements terminaux, des serveurs et des réseaux à l'élaboration d'algorithmes et de programmes sobres énergétiquement, en passant par la prise en compte du cycle de vie des équipements dans l'ingénierie des systèmes numériques.

1 État des lieux

Nous observons au cours des dernières décennies un certain nombre de changements majeurs à l'échelle planétaire. Ces changements incluent notamment une déforestation, une érosion des sols et une désertification massives, un effondrement de la biodiversité, ou encore une transformation du climat impliquant entre autres une hausse de la température moyenne. Il est aujourd'hui acquis que les causes de ces changements globaux sont très largement humaines.

La compréhension des effets précis de ces changements à court, moyen et long terme sont rendus extrêmement difficiles car ils impliquent des systèmes dynamiques mettant en jeu de nombreuses interdépendances et boucles de rétroaction. Cependant, l'un des facteurs essentiels est que l'espèce humaine utilise massivement une source d'énergie abondante et facile d'accès : les énergies fossiles. L'accord international de Paris sur le climat, signé en décembre 2015, engage tous les pays du monde à sortir de leur dépendance à ces énergies fossiles afin de tenter d'enrayer le chaos climatique qui se prépare. Dans ce contexte, il est absolument nécessaire de limiter la consommation d'énergie globale, sans quoi l'objectif signé par l'accord de Paris sera simplement hors de portée.

1.1 Numérique et environnement

Contrairement à certaines idées reçues les technologies numériques font partie intégrante de la problématique environnementale, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces technologies sont au cœur de nos sociétés, et leur empreinte sur l'environnement ne cesse de croître, d'autant plus que les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont considérées par de nombreux acteurs comme l'un des principaux leviers de développement économique et social. En outre, les TIC contribuent à une dématérialisation des échanges et à une complexification des sociétés induisant une distorsion dans la manière dont nous percevons les impacts de nos activités sur l'environnement en entretenant une illusion de virtualité. Enfin, sur une note plus positive, les TIC apparaissent également dans un certain nombre de secteurs comme un moyen d'utiliser des ressources de manière plus efficace, et constituent également un formidable vecteur de diffusion de l'information.

Une empreinte exponentielle Les usages du numérique — et en particulier du numérique connecté — envahissent notre quotidien. Pour ne prendre qu'un exemple, selon [Cisco \(2019\)](#), l'ensemble du trafic IP atteignait en 2017 1,5 ZB, soit $1,5 \times 10^{21}$ B. À titre de comparaison, ce même trafic était estimé à environ 3,2 EB en 2002, soit presque 500 fois moins. Toujours selon la même étude, la croissance du trafic devrait atteindre 26 % par an entre 2017 et 2022. Notons qu'environ 80 % de ce trafic concerne les usages vidéo ([The Shift Project, 2019](#)), parmi lesquels la vidéo à la demande (34 % du trafic global), la pornographie vidéo (27 % du trafic global), les tubes (21 % du trafic global).

L'illusion de dématérialisation entourant le secteur du numérique conduit parfois à méconnaître son impact sur l'environnement, qui est pourtant considérable. Afin de comprendre cet impact, il convient dans les périmètres des estimations toutes les phases du cycle de vie des équipements : fabrication, transport, usage, fin de vie. De plus, le périmètre des TIC implique quatre grands types d'équipements ([The Shift Project, 2018a](#)) qu'il est nécessaire de considérer :

- les réseaux de télécommunications ;
- les centres de données ;
- les équipements terminaux (ordinateurs personnels, smartphones...);
- les objets connectés.

Cette analyse du périmètre met en lumière l'un des premiers écueils de toute étude d'impact lié au numérique :

L'aspect fortement interconnecté et délocalisé des équipements rend extrêmement délicate l'analyse des impacts réels des usages dans le domaine des TIC.

Ainsi, par exemple, il est presque impossible d'analyser finement le coût en termes d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) d'une simple requête vers un serveur, tant le nombre d'équipements impliqués dans le traitement de cette requête est important, variable, et dispersé géographiquement (induisant des émissions de GES variables selon le mix énergétique local).

Certains modèles d'émissions de GES existent cependant. Même s'ils sont incomplets, ils produisent cependant une estimation de base. Ainsi, par exemple, selon le modèle du rapport du think tank [The Shift Project \(2018a\)](#)¹, s'appuyant sur un modèle de [Andrae et Edler \(2015\)](#), le secteur des TIC représentait en 2018 environ 4 % des émissions de GES (soit plus que le secteur aérien civil), avec

¹Ce Think Tank créé en 2010 constitue aujourd'hui l'une des ressources incontournables en matière de transition écologique. Il est notamment à l'origine de plusieurs rapports sur l'impact environnemental des TIC, ainsi que d'un rapport sur la transition environnementale dans l'enseignement supérieur.

une croissance d'environ 8 % par an. Cette estimation montre donc que ce secteur a un impact considérable sur les émissions de GES, et, plus inquiétant, que cet impact croît de manière exponentielle.

Notons également que dans le cycle de vie d'un équipement terminal, l'impact de la phase d'usage est toujours largement minoritaire par rapport à celle de la phase de fabrication et de fin de vie. Si la consommation énergétique des équipements liés à leur phase d'usage est considérable, la fabrication de ces équipements est encore plus délétère sur l'environnement, notamment à cause de l'extraction et du traitement des dizaines de matériaux nécessaires, qui conduisent à des émissions considérables et à une pollution dramatique de l'environnement proche des lieux d'extraction.

Concluons ce paragraphe dédié à l'analyse de l'impact environnemental des TIC en mettant en valeur un deuxième écueil propre à ce domaine :

Toute analyse de l'impact environnemental d'une technologie dans le domaine numérique nécessite une connaissance interdisciplinaire pointue.

Ainsi, si l'on veut comprendre finement l'impact environnemental des TIC, il faut faire appel non seulement aux connaissances de l'informatique en général (algorithmes, architecture, réseaux, applications web...), mais aussi à des connaissances chimiques nécessaires à la compréhension des processus d'extraction des matériaux et à leur traitement et leur recyclage, ou encore à des connaissances en biologie et en dynamique des systèmes géophysiques, nécessaires à l'évaluation des impacts sur l'environnement. Cela peut expliquer pourquoi à ma connaissance le nombre d'experts sur les problématiques environnementales est aussi faible dans le monde de l'informatique, et la formation sur ces aspects-là quasi inexistante.

IT for green Malgré cet impact négatif, les TIC sont considérées par certains acteurs comme un moyen incontournable de gérer la transition énergétique. De fait, les TIC permettent une diffusion à grande échelle des connaissances et des savoir-faire liés à l'environnement, préalable à toute prise de conscience et réaction collective sur ces problématiques.

En outre, les outils numériques permettent dans certains domaines une dématérialisation des échanges qui peut amener à une utilisation plus modérée de l'énergie dans des secteurs très carbonés comme celui des transports. On cite toujours en exemple le télétravail et les systèmes de téléconférence qui permettent en théorie de réduire le nombre de déplacements professionnels.

Enfin, dans certains domaines, les TIC sont vus comme un formidable outil permettant de gérer un ensemble de ressources de manière plus efficiente. Les exemples sont nombreux : réseaux de distribution d'électricité (*smart grids*), systèmes de covoiturage, bâtiments « intelligents », agriculture...

Effets rebonds Malheureusement, ces effets positifs des TIC se doivent d'être tempérés. S'il existe des effets positifs réels de ces technologies sur l'efficacité énergétique par exemple, aucune étude sérieuse à ma connaissance n'a réussi à aboutir à la conclusion que ces effets ont conduit à une réduction de l'impact environnemental global du secteur concerné. Et malheureusement, il est très probable qu'en pratique cette amélioration de l'efficacité a eu un effet contraire et a conduit *in fine* à une augmentation de l'impact. C'est une illustration du fameux *paradoxe de Jevons* (Jevons, 1866).

Ce paradoxe incontournable est dû au phénomène dit de l'*effet rebond*, et qui met en lumière le troisième écueil de toute tentative de réduction de l'impact environnemental d'une technologie ou d'un usage par amélioration de l'efficacité énergétique, *a fortiori* donc dans le domaine des TIC :

L'amélioration de l'efficacité énergétique d'un outil ou d'une ressource conduit presque inévitablement à une augmentation de son utilisation qui réduit d'autant tout gain potentiellement réalisé sur la consommation énergétique globale, voire produit un effet contraire, c'est-à-dire conduit à une augmentation de la consommation énergétique (dans ce cas, on est en présence du paradoxe de Jevons).

Si la quantification précise de cet effet rebond est délicate et sujette à de nombreuses controverses, il a en revanche été observé en pratique dans de nombreux domaines (Sorrell, 2007; Vivanco, 2017), et l'existence de ce phénomène est désormais universellement admise.

Toute tentative de réduction de l'impact environnemental d'une technologie, en particulier dans le domaine des TIC, ne peut donc se faire sérieusement sans prendre en compte cet effet.

Complexification des interactions Terminons cette revue des impacts environnementaux des TIC en évoquant un effet plus complexe à quantifier et à évaluer encore que l'effet rebond, mais qui a très certainement une importance considérable. Certaines études montrent que les sociétés tendent à perdre en efficacité lorsqu'elles atteignent un certain niveau de complexité (Tainter, 1988), car le coût déployé pour entretenir toutes les structures sociales dépasse de loin celui qui est nécessaire à la résolution des problèmes posés. En d'autres termes, le simple maintien de la structure de la société demande une dépense d'énergie importante. Cette complexité structurelle accroît également de manière considérable le retard de réaction de la société face à un problème global (comme l'est celui du changement climatique), d'une part en augmentant la complexité du processus de prise de décision, et d'autre part en rendant inintelligible la compréhension du système global, des phénomènes, des réactions et de leurs effets.

Cette complexité est inhérente à l'évolution de la société moderne, fondée sur l'idée de croissance économique. En revanche, les TIC apparaissent comme un accélérateur de cette complexité qui agit donc, *in fine*, comme un retardateur de décision. Citons deux exemples. Tout d'abord, comme nous l'avons cité plus haut, il est extrêmement difficile d'évaluer précisément le coût environnemental des TIC : cela tient à la complexité même de notre infrastructure, qui met en jeu de nombreux systèmes dispersés sur la planète. À titre de comparaison, évaluer l'impact d'un trajet en voiture semble plus simple car le périmètre du système est plus limité. La compréhension du lien entre l'utilisation d'un véhicule et la pollution induite est donc plus immédiate que dans le cas des TIC. Second exemple : l'hyperconnexion des individus et des systèmes conduit inévitablement à une hyperspécialisation des secteurs. Produire le moindre appareil (ou produit d'alimentation) requiert l'intervention de dizaines d'entités spécialisées réparties sur l'ensemble de la planète et qui doivent se coordonner pour fabriquer le produit final, ce qui est symptomatique d'une complexité horizontale importante de la société.

En d'autres termes, même si ces effets sont difficiles à quantifier, il est important d'avoir conscience de l'accélération de complexité globale induite par les technologies numériques.

1.2 Les acteurs académiques et industriels

L'état des lieux de l'impact environnemental des technologies numériques présenté dans la section précédente est pour le moins préoccupant. Dans cette section, nous allons tenter de dresser un état des lieux de la prise de conscience des acteurs académiques et industriels sur la question, et établir une liste d'outils mis à disposition. Cette revue n'a bien entendu aucune prétention d'exhaustivité.

Les acteurs industriels Concernant le monde industriel, les préoccupations environnementales commencent à être mises en avant par de nombreuses entreprises du numérique. Cependant, la maturité des entreprises est relativement hétérogène selon le type de bonnes pratiques à mettre en œuvre. Selon l'étude WeGreenIT (WWF et GreenIT, 2018) concernant 24 grandes entreprises françaises, dont certaines liées directement au secteur des TIC (Schneider Electric, Atos Worldline, Ubisoft...), certaines bonnes pratiques sont mises en œuvre au niveau de l'impact professionnel. En revanche, deux domaines se distinguent par leur manque de maturité : la mise en place d'une véritable gouvernance fondée sur la sobriété environnementale et la conception écoresponsable des services numériques. Cela dit, cette étude qui affiche un bilan plutôt positif, semble toutefois à prendre avec précaution car

elle s'appuie en grande partie sur une auto-évaluation des entreprises². Plus que le résultat de l'étude, ce qu'il me paraît important de retenir est que cette préoccupation commence à atteindre le secteur industriel.

La conception de services numériques responsables (et sobres pour l'environnement) est une question centrale et est indissociable de toute démarche visant à réduire l'empreinte écologique d'une entreprise dans le secteur des TIC. À ce sujet, la question de l'introduction d'une certification permettant d'attester qu'un logiciel ou un service a été développé en respectant des contraintes d'écoconception est cruciale. On a vu apparaître ces dernières années un certain nombre d'initiatives allant dans ce sens :

- l'entreprise Greenspector³ est une entreprise spécialisée dans l'audit pour l'écoconception logicielle. Elle propose notamment un outil permettant de mesurer la consommation énergétique d'une application (web, mobile), et propose d'accompagner les entreprises dans la pratique du développement responsable ;
- le label Greencode⁴ est dédié à l'écoconception des sites web. Il s'appuie sur un référentiel de bonnes pratiques à mettre en œuvre et permet de fournir une certification pour des sites web sur une durée de 2 ans. L'un des créateurs du label est d'ailleurs l'un des membres fondateurs de Greenspector ;
- la certification proposée par le collectif Conception Numérique Responsable⁵ piloté par GreenIT.fr est également dédiée à l'écoconception web. En revanche, elle n'est pas attribuée à des sites web, mais à des développeurs, sur la base d'un QCM ;
- l'outil EcoIndex⁶ proposé également par GreenIT.fr permet d'évaluer la performance environnementale d'un site web. Il ne délivre pas de certification, mais permet à n'importe quel développeur d'évaluer un site web en quelques minutes, sur la base de quelques métriques.

Les acteurs institutionnels et académiques Comme nous l'avons vu précédemment, il existe des initiatives intéressantes dans le monde industriel, mais la prise de conscience et la mise en œuvre de la transition reste lente. Qu'en est-il dans le monde institutionnel et académique, en particulier dans le monde de la recherche ?

Des initiatives récentes existent concernant la prise de conscience de certains chercheurs, notamment à la suite de l'appel du collectif Labos 1.5⁷. Ces initiatives concernent de manière générale la nécessité de diminuer de manière drastique l'impact des recherches scientifiques sur l'environnement, mais ne concernent pas l'objet des recherches elles-mêmes, et ne sont pas spécifiques au secteur des TIC. Dans ce domaine, même si l'on recense un certain nombre de travaux sur la question de l'augmentation de l'efficacité énergétiques des équipements (en particulier dans le domaine du calcul haute performance, des objets connectés ou des réseaux), ces recherches n'ont pas pour finalité une réduction de l'impact environnemental (et n'en auront probablement pas au final en vertu de l'effet rebond déjà évoqué). On peut citer deux exceptions notables :

- l'équipe STEEP de l'Inria⁸ dont la finalité est bien la recherche sur la transition durable et les politiques publiques, ce qui est notable dans un laboratoire d'informatique ;

²D'autres points de l'étude nous incitent à la prudence, notamment, l'affichage d'une part de 2% du secteur des TIC dans le total mondial des émissions de GES, correspondant à une étude datée de 2008, ce qui est plus que contestable étant donné le taux de croissance annuel.

³<https://greenspector.com/>

⁴<https://label.greencodelab.org/>

⁵<https://collectif.greenit.fr/certification.html>

⁶<http://www.ecoindex.fr/>

⁷<https://labos1point5.org/>

⁸<https://team.inria.fr/steeep/>

- le Groupement De Services (GDS) du CNRS ÉcoInfo (<https://ecoinfo.cnrs.fr/>), dont l'objectif est d'« agir pour réduire les impacts (négatifs) environnementaux et sociétaux des TICs » et qui fournit un ensemble considérable de ressources et une force de travail sur la question.

En revanche, force est de constater que, comme dans le domaine industriel, ces problématiques environnementales ne sont pas encore intégrées pleinement à la gouvernance des instances de recherche.

En termes d'offres de formation, les initiatives dans le monde de l'enseignement supérieur sont encore sporadiques. À ma connaissance, il n'existe pas encore d'offre structurée dans le domaine. Cette impression semble être confirmée par le rapport du think tank *The Shift Project* (2018b), qui montre que malgré un intérêt croissant des étudiants, « l'offre est largement insuffisante, avec seulement 11 % des formations qui abordent actuellement les enjeux climat-énergie de manière obligatoire. » Cependant, les choses commencent à bouger, avec l'émergence d'initiatives individuelles ou de structures d'accompagnement telles que l'initiative Latitudes⁹.

2 Projet pédagogique

Comme nous l'avons vu en section 1.1, le bilan environnemental du secteur des TIC préoccupant, et les initiatives sont encore faibles et peu structurées, que ce soit dans le monde industriel ou académique. Il est donc absolument nécessaire d'agir dans ce domaine.

Les ingénieurs de Grenoble INP – Ensimag seront parmi ceux qui bâtiront le monde numérique de demain. Il est donc inconcevable aujourd'hui qu'ils ne soient pas armés pour comprendre l'impact des TIC sur la société et l'environnement. Il ne s'agit pas d'une simple sensibilisation mais d'un changement complet de discours. Le monde numérique a besoin d'ingénieurs capables :

- de mieux comprendre les problématiques environnementales liées aux TIC et de produire des outils permettant d'évaluer finement ces impacts ;
- d'être moteurs dans l'élaboration d'un monde numérique qui s'appuie sur la sobriété énergétique.

Le deuxième écueil du domaine, identifié dans la section 1.1, ainsi que l'état des lieux décrit dans la section 1.2 montrent que, même s'il existe quelques ressources disponibles, l'offre de formation dans le domaine des impacts environnementaux des TIC est balbutiante et essentiellement non structurée pour le moment. En tant que domaine de recherche scientifique, il n'existe à ma connaissance pas de communauté très bien identifiée, ce qui rend assez délicat le recrutement d'un enseignant spécifiquement sur ce domaine.

À l'Ensimag, ces problématiques ne sont que très sporadiquement prises en compte dans l'enseignement. Un recensement rapide des actions menées à l'Ensimag dans le domaine du Développement Durable et de la Responsabilité Sociale (DDRS) dans l'offre de formation font apparaître les éléments suivants.

- Quelques notions de DDRS sont intégrées de manière *très disparate* dans certains cours (éthique et données, éthique et finance, Algorithmique et Optimisation Discrète par exemple).
- Depuis 2017, l'évaluation de tous les Projets de Fin d'Étude (PFE) de l'Ensimag prend en compte un critère concernant l'impact DDRS du stage réalisé.
- En 2018, une Journée Informatique Éthique et Durable (JIED) a été intégrée de manière obligatoire au cursus de tous les étudiants 3A de la filière Ingénierie des Systèmes d'Information.

⁹<https://www.latitudes.cc/>

En 2019, ce module est passé sur deux journées complètes et a été étendu à tous les étudiants ingénieurs de 3A. Il a permis de sensibiliser tous les étudiants aux impacts environnementaux et sociaux des TIC, grâce à l'intervention d'acteurs du monde industriel et académique.

Ces actions vont dans le bon sens, mais restent extrêmement limitées. Mon expérience en tant que correspondant développement durable de l'Ensimag m'ont montré (i) que de nombreux enseignants sont sensibles à ces problématiques et seraient prêts à les introduire dans le cursus, (ii) mais qu'en revanche, personne n'est réellement formé sur la question et personne n'a réellement le temps de le faire. Si l'Ensimag veut se doter d'une véritable expertise en la matière, il est donc important que des enseignants titulaires soient formés à ces problématiques. C'est l'objet du projet pédagogique que je propose.

Plus précisément, l'objectif de ce projet pédagogique est triple :

1. Aboutir au montage de toute pièce d'un module d'enseignement complet en lien avec les problématiques environnementales dans le numérique. À titre d'exemple, ce module pourra être consacré à l'évaluation de la consommation énergétique des applications web, ou encore à l'éco-conception logicielle.
2. Constituer un corpus de ressources scientifiques et pédagogiques sur le numérique et l'environnement, accessibles en ligne de manière ouverte. Ces ressources devraient couvrir un spectre allant de l'analyse de la consommation électrique des équipements terminaux, des serveurs et des réseaux à l'élaboration d'algorithmes et de programmes sobres énergétiquement, en passant par la prise en compte du cycle de vie des équipements dans l'ingénierie des systèmes numériques.
3. S'appuyer sur ces ressources pour former un groupe d'enseignants de l'Ensimag à ces problématiques et initier un véritable virage dans la manière d'enseigner l'informatique dans l'école.

La réalisation de ces objectifs me paraît incompatible avec une charge d'enseignement complète sur une année, car elle nécessite une auto-formation importante¹⁰. C'est ce qui motive ma demande de congé pour projet pédagogique. Ma demande porte sur **un semestre**. Pour des raisons purement logistiques, l'essentiel de mes cours étant au premier semestre, ma demande porte sur **le second semestre 2020/2021**.

Afin de mener à bien ce projet, je compte m'appuyer sur les nombreuses ressources mises à disposition par le GDS ÉcoInfo (cf section 1.2). J'ai également initié une collaboration avec Kévin Marquet, enseignant-chercheur à l'INSA de Lyon, et qui a mis en place cette année une série de cours concernant les problématiques énergétiques dans le développement logiciel. Certains collègues de l'environnement académique grenoblois ont également entamé une démarche similaire à la mienne, et je compte m'appuyer sur ces collaborations proches pour avancer.

Vision stratégique et retombées espérées Ce projet pédagogique s'inscrit pleinement dans la politique de l'établissement, puisque le numérique et l'environnement constituent *deux des cinq enjeux sociétaux et défis industriels majeurs* listés dans la stratégie de Grenoble INP¹¹. En outre, le développement durable fait partie de l'une des cinq missions fondamentales décrites dans ce même texte d'orientation stratégique.

De plus, ce projet fait partie de l'un des axes de la note d'orientation stratégique approuvée par le conseil de l'Ensimag le 24 mai 2019 : « Disséminer une technologie numérique au service du bien commun et de l'humain (éthique, bien être, sécurité, régulation des données, Droit, développement

¹⁰C'est d'ailleurs l'un des principaux obstacles identifiés dans le rapport du Shift Project ([The Shift Project, 2018b](#)) sur la question.

¹¹<http://intranet.grenoble-inp.fr/pilotage/la-strategie>

durable, low tech, environnement, santé) ». Il est donc en pleine adéquation avec les orientations de l'école.

Au-delà de cet aspect stratégique, il me paraît primordial que l'école se positionne sur la transition environnementale du numérique, pour deux raisons principales. La première est que les entreprises commencent à être sensibles à ces questions, comme nous l'avons vu dans la section 1.2, et il y a fort à parier que par la force des choses ces problématiques deviendront prépondérantes dans le monde industriel à court terme. Si l'école veut maintenir une très forte employabilité de ses étudiants elle devra donc investir dans ce domaine. La seconde raison est que les étudiants eux-mêmes deviennent de plus en plus sensibles à ces problèmes et commencent à se détourner des formations ne leur offrant pas une vision claire et en adéquation avec leurs principes. À terme, l'école pourrait perdre en attractivité si son offre de formation n'intègre pas ces problématiques environnementales.

Sur une note plus positive, nous nous trouvons actuellement à un tournant. Comme nous l'avons vu, l'offre de formation reste essentiellement à bâtir, et de nombreuses initiatives commencent à émerger dans le monde académique. Ce moment constitue une opportunité unique pour l'Ensimag de se positionner sur ces sujets, et de devenir une force de proposition reconnue à la fois dans le monde académique et par les entreprises du numérique.

Éthique et responsabilité sociale J'aimerais conclure ce projet en évoquant les aspects liés à la responsabilité sociale et sociétale dans l'informatique. Personne ne peut aujourd'hui contredire le fait que l'impact du numérique sur la société est considérable. Ce domaine a proprement changé en profondeur la structure de nos sociétés. Malheureusement, ces changements ne sont pas tous positifs.

Nous avons par exemple déjà évoqué les aspects délétères sur l'environnement de la phase de fabrication. Ces aspects s'accompagnent également de conditions de travail et d'existence indignes pour de nombreuses personnes impliquées. Cette surproduction d'appareils numériques conduit également à une surexposition des utilisateurs, qui crée des phénomènes d'addiction aux écrans, et a un effet important sur notre attention et notre capacité de raisonnement (en particulier sur les jeunes enfants). L'hyperconnexion a conduit également à exposer sur le web de nombreuses données liées à notre vie privée, ce qui a conduit à des dérives importantes situées à trois niveaux graduels :

- Construction d'un système de surveillance généralisé contrôlé principalement par un oligopole d'entreprises sans garde-fous réels.
- Construction d'un système de manipulation généralisée, comme l'ont montré les récentes affaires telles que celle concernant Cambridge Analytica¹². Comme le rappelait récemment Moshe Vardi qui fait partie de la promotion 2019 des docteurs Honoris Causa de l'Université Grenoble-Alpes, ces affaires montrent que l'écosystème numérique met en péril nos démocraties dans leur fondement même. Cela fait référence plus précisément au système électoral qui est fondé sur le choix libre et éclairé des citoyens, lui-même s'appuyant sur un accès libre à une information non biaisée.
- Construction de systèmes de décision automatisés fondés sur des méthodes qui trop souvent reproduisent et amplifient un certain nombre de biais (racistes, misogynes...), comme l'ont montré les récents travaux effectués en lien avec l'éthique des systèmes d'intelligence artificielle¹³.

En définitive, ces questions rejoignent celles liées à l'impact environnemental dans le sens où elles nous font prendre conscience de la nécessité de réintroduire une éthique dans notre vision de l'informatique. J'ai fait le choix d'orienter ce projet pédagogique vers les problématiques environnementales pour des raisons de faisabilité, car vouloir monter de toute pièce un ensemble de ressources pédagogiques traitant à la fois des aspects environnementaux et des aspects sociaux et sociétaux me paraît

¹²https://www.lemonde.fr/pixels/article/2018/04/04/cambridge-analytica-87-millions-de-comptes-facebook-concerne_5280752_4408996.html.

¹³<https://www.lemonde.fr/blog/internetactu/2019/10/03/kate-crawford-les-biais-sont-devenus-le-materiel-brut-de-lia/>

trop ambitieux pour être réaliste sur une période de temps aussi courte. J'aimerais en revanche mettre en évidence le fait que ces deux aspects sont intimement liés, et qu'aucune transition environnementale dans l'enseignement ne pourra se faire sans un enseignement de l'éthique et des impacts sociaux, comme le montrent les Journées Informatique Éthique et Durable que nous avons monté l'an dernier et qui font cohabiter ces deux aspects.

Références

- Anders S. G. ANDRAE et Tomas EDLER : On global electricity usage of communication technology : Trends to 2030. *Challenges*, 6(1):117–157, 2015. ISSN 2078-1547. URL <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>.
- CISCO : Cisco visual networking index : Forecast and trends, 2017–2022 white paper. Rapport technique, Cisco, février 2019. URL <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>. Document ID :1551296909190103.
- William Stanley JEVONS : *The coal question : an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*. Macmillan London, 1866.
- Steven SORRELL : The rebound effect : an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. Rapport technique, UK Energy Research Centre., 2007. URL <http://www.ukerc.ac.uk/asset/3B43125E-EEBD-4AB3-B06EA914C30F7B3E/>.
- Joseph TAINTER : *The collapse of complex societies*. Cambridge university press, 1988.
- THE SHIFT PROJECT : Lean ICT – pour une sobriété numérique. Rapport technique, The Shift Project, 2018a. URL <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>.
- THE SHIFT PROJECT : Mobiliser l'enseignement supérieur pour le climat. Rapport technique, The Shift Project, 2018b. URL <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-mobiliser-superieur-climat/>.
- THE SHIFT PROJECT : Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne lean ICT – un cas pratique pour la sobriété numérique. Rapport technique, The Shift Project, 2019. URL <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>.
- David Font VIVANCO : Rethinking climate and energy policies : new perspectives on the rebound phenomenon. *Transport Reviews*, 37(6):810–813, 2017. URL <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1307878>.
- WWF et Club GREENIT : Étude greenit : Quelle démarche greenit pour les grandes entreprises françaises? Rapport technique, WWF / Club Green IT, 2018. URL https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-10/20181003_etude_wegreenit_d%C3%A9marche_green_it_entreprises_francaises_WWF-min.pdf?utm_source=website&utm_campaign=etude%20wegreenit.