Sujet de thèse

Le numérique dans l'anthropocène : enjeux techniques, scientifiques et sociétaux à l'échelle locale

1 Contexte

La gravité de la crise environnementale actuelle ne fait plus de doute [21, 2, 16]. L'accord de Paris a acté l'urgence d'agir pour limiter l'ampleur du réchauffement climatique. Les besoins sont immenses et peuvent se classer en trois catégories :

1. Limiter drastiquement et rapidement nos impacts sur l'environnement pour réduire l'ampleur de la catastrophe en cours ;
2. Préparer nos sociétés aux bouleversements à venir car certains sont déjà inévitables ;
3. Inventer des alternatives qui soient soutenables et équitables, ou qui représentent une étape importante dans cette direction.

Les moyens pour répondre à ces besoins sont par contre très loin de faire consensus.

Quel rôle le numérique joue-t-il dans la crise actuelle ? Des études récentes [15, 7, 3, 23] montrent que nos usages des technologies numériques participent à la dégradation environnementale. En parallèle, de nombreux rapports [25, 24, 31, 20, 22] vantent la capacité de ces mêmes technologies à réduire les impacts environnementaux des autres secteurs (transport, bâtiment, agriculture, énergie, industrie, etc.). Pour remettre en perspective ces informations discordantes, les questions suivantes, qui se rapportent aux besoins globaux, se posent :

— Quels sont les impacts du numérique sur l'environnement ? Ces impacts, qu'ils soient directs ou indirects, et les tendances associées, sont-ils d'un ordre de grandeur significatif au regard des impacts globaux ? En particulier, le numérique peut-il vraiment aider à réduire significativement les impacts d'autres secteurs sur l'environnement ?
— Le numérique peut-il nous aider à rendre nos sociétés plus résilientes, ou met-il au contraire en danger nos capacités à assurer nos besoins de base ?
— Quelle est la place du numérique dans la construction d'alternatives soutenables ?

Indépendamment de la question environnementale, un constat s'impose : le numérique est aujourd'hui au cœur de tous les secteurs d'activité et son omniprésence ne cesse de croître. Intelligence artificielle, voitures autonomes, réseaux de capteurs, cryptomonnaies etc. promettent de transformer nos vies, mais aussi de réduire nos impacts environnementaux. Il s'agit alors de "faire de la transition numérique un accélérateur de la transition écologique" [13]. Or les promesses de la transition numérique en matière d'écologie ne sont pour l'instant pas tenues. À titre d'exemple, la "dématérialisation" n'est au final qu'une invisibilisation des impacts [14, 9], qui n'ont cessé de croître [8]. Autre exemple : le succès de l'économie collaborative ne contribue pas, contrairement aux attentes, à une réduction des impacts

globaux car elle crée de nouveaux usages [12] et des reports modaux depuis d'autres comportements moins impactants [1, 10]. Pour finir, les réductions potentielles de nos émissions de CO2 vantées il y a dix ans dans [25, 24, 31] ne se sont pas réalisées.

Au vu de l'urgence actuelle, il est légitime de s'interroger : Quel est le réel potentiel des solutions numériques face à la crise environnementale ? Quels sont les risques associés, y compris celui de favoriser l'option technologique au détriment de solutions plus *low tech* possiblement plus efficaces ? Quelles sont les conditions selon lesquelles une technologie peut être déployée de manière soutenable ? Nous manquons actuellement de bases scientifiques qui aideraient à décider si une technologie numérique doit être développée et/ou déployée au vu de son efficacité, de son coût, du temps nécessaire pour la mettre en oeuvre et des incertitudes associées.

2 Objectifs de la thèse

L'objectif de cette thèse est d'étudier le potentiel et les risques de certaines solutions numériques pour limiter nos impacts environnementaux *à l'échelle locale*, c'est à dire à l'échelle d'une ville et de sa zone d'influence. Le choix de se concentrer sur une échelle locale se justifie à la fois par des aspects pratiques et des aspects scientifiques. Il est ainsi plus aisé d'obtenir des données, des contacts et de mettre en place des protocoles expérimentaux. En outre, la plupart des études scientifiques existantes travaillent à des échelles plus grandes. Or, chaque territoire étant différent tout en offrant des possibilités d'actions spécifiques, il existe un intérêt particulier à travailler à cette échelle.

La soutenabilité du tout connecté – point commun de multiples solutions technologiques – commence tout juste à être étudiée [6, 5]. Dans le cadre de cette thèse, on abordera les questions suivantes : Quels bénéfices environnementaux nets peut-on espérer de ces solutions numériques ? Avec quelles incertitudes ? Sous quelles conditions et avec quelles implications (économiques, sociétales, politiques etc.) ? Comment ces solutions s'intègrent-elles dans une réponse aux besoins globaux décrits en introduction de ce document, et comment se comparent-elles à des alternatives ?

On commencera par quantifier les bénéfices potentiels, c'est-à-dire d'un point de vue purement technologique et en prenant en compte les impacts directs de la mise en place de ces solutions, en particulier : la production et le déploiement des infrastructures (capteurs, serveurs, réseaux, etc.) ; leur alimentation en énergie électrique ; et la gestion de leur fin de vie. Il est à noter que si les solutions sont locales, leurs impacts ne le sont pas.

Il s'agit ensuite d'étudier et de quantifier les effets indirects, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas directement liés à la technologie étudiée mais plutôt à la façon dont nos sociétés répondent à l'introduction de celle-ci [4, 27, 29]. De tels effets peuvent limiter voire inverser les bénéfices attendus ; un exemple typique est l'effet rebond [30, 19]. Une telle étude est par nature pluri-disciplinaire.

En complément de ces deux questions, un effort particulier sera porté à l'étude des hypothèses (technologiques, économiques, règlementaires, sociétales, etc.) sous lesquelles les solutions étudiées sont bénéfiques d'un point de vue environnemental. De telles hypothèses sont-elles réalistes ? Au final, quelle est l'importance des différents choix technologiques dans le succès de la solution par rapport aux hypothèses ? Certaines discussions autour de la mobilité autonome se basent par exemple sur des hypothèses de progrès technologique et de transformations sociétales qui vont au-delà de l'optimisme [28].

Un point clé concerne l'évaluation de l'incertitude des résultats, qu'elle soit liée aux méthodes d'évaluation ou aux hypothèses de départ. On cherchera à permettre de distinguer ce dont on peut tirer des

conclusions de ce qui est inutilisable car trop incertain. On remettra d'autre part ces résultats en perspective en les confrontant aux objectifs environnementaux définis entre autres par le GIEC [21]. Enfin, pour que de tels résultats soient exploitables en pratique, il convient d'ouvrir la discussion à d'autres aspects que les critères environnementaux, à savoir : coût économique, temporalité, implications sociétales, degré de résilience, etc. Dans cette discussion, on cherchera également à comparer des scénarios alternatifs, basés ou non sur des technologies numériques, voire à proposer des améliorations de ces scénarios. Mener à bien de tels arbitrages nécessite une approche multi-critères qui mélange aspects quantitatifs et qualitatifs.

La description du sujet de thèse n'est jusqu'ici pas spécifique à l'échelle locale ni à un domaine d'application. Sans s'y limiter, ce travail bénéficiera du contexte favorable de la région grenobloise et étudiera plus particulièrement le secteur des transports, très générateur d'émission de gaz à effets de serre. Dans ce domaine, de multiples études [32, 17, 25, 24, 31, 20, 17] soulignent le potentiel des technologies *smart* (parking facilité, fluidification du trafic, augmentation du partage de véhicules) au moyen de technologies variées (réseau de capteurs, conduite autonome, services en ligne), alors que d'autres travaux mettent en garde contre leurs effets négatifs [26, 10, 11, 18, 33, 34]. Un des objectifs de cette thèse est de développer une étude de cas sur les plateformes de covoiturage dans l'agglomération grenobloise, qui sont de plus en plus nombreuses. Des contacts ont été établis à ce sujet avec l'Agence d'urbanisme de la région grenobloise et le Syndicat mixte des mobilités de l'aire grenobloise.

3 Plan de thèse

La thèse se déroulera de la façon suivante.

1. Faire une revue bibliographique critique sur les technologies *smart* pour la mobilité existantes (impacts directs, indirects, et alternatives).
2. Mettre en évidence les incertitudes et leurs origines (qualité des données, périmètre, hypothèses, complexité de phénomènes, etc.).
3. Modéliser des scénarios prospectifs en dissociant les différents aspects techniques et sociétaux.
4. En parallèle, appliquer les modèles à la smart mobilité à l'échelle grenobloise en collaboration avec des chercheurs en SHS et des collectivités territoriales.
5. Discuter des enjeux non environnementaux des différents scénarios, proposer des pistes d'amélioration et/ou des alternatives socio-techniques. C'est la partie la plus transdisciplinaire de la thèse. L'enjeu scientifique est ici d'intégrer aspects quantitatifs et qualitatifs.

4 Environnement de travail

Cette thèse sera co-encadrée par Sophie Quinton (INRIA Grenoble), Jacques Combaz (Verimag), Kevin Marquet (INSA Lyon) et Alain Girault (INRIA Grenoble). Elle bénéficiera d'un environnement avec des compétences variées et complémentaires :

— Jacques Combaz, Kevin Marquet et Sophie Quinton sont des membres actifs du GDS EcoInfo (`https://ecoinfo.cnrs.fr/`); Kevin Marquet est directeur adjoint du GDS. Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre des questions abordées par EcoInfo et bénéficiera des compétences techniques et scientifiques des membres du GDS, qui sont principalement des ingénieurs et des chercheurs en informatique.

— Kevin Marquet et Sophie Quinton sont membres du GT "Politiques environnementales du numérique" du GDR "Internet, IA et Société". En contraste avec EcoInfo, les membres de ce GDR sont majoritairement issus des SHS. Le doctorant aura plus particulièrement l'opportunité d'échanger régulièrement avec Clément Marquet (postdoctorant en sociologie à l'Ifris et Costech, et coordinateur avec Sophie Quinton du GT "Politiques environnementales du numérique") et Fabrice Flipo (professeur de philosophie, épistémologie et histoire des sciences et techniques à l'Institut Mines-Telecom BS).
— Des discussions sont en également en cours avec des chargés de mission mobilités de l'Agence d'urbanisme de la région grenobloise et du Syndicat mixte des mobilités de l'aire grenobloise.
— Enfin, cette thèse se déroulera au sein de l'équipe SPADES, qui est spécialisée dans les systèmes embarqués, au premier rang desquels figurent les voitures et les objets connectés. Des discussions sont en cours depuis plus d'un an au sujet du rôle du numérique dans la crise environnementale. Ce sujet de thèse en est une première concrétisation.

Références bibliographiques.

[1] Ademe. Enquête auprès des utilisateurs du covoiturage longue distance, 2015.

[2] European Environment Agency. Why does europe need to limit climate change and adapt to its impacts ? 2020.

[3] Anders S. G. Andrae and Tomas Edler. On Global Electricity Usage of Communication Technology : Trends to 2030. 6(1) :117–157.

[4] Jan C. T. Bieser and Lorenz M. Hilty. Assessing indirect environmental effects of information and communication technology (ict) : A systematic literature review. *Sustainability*, 10(8), 2018.

[5] Hendrik S. Birkel, Johannes W. Veile, Julian M. Müller, Evi Hartmann, and Kai-Ingo Voigt. Development of a risk framework for industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. *Sustainability*, 11(2), 2019.

[6] Silvia H. Bonilla, Helton R. O. Silva, Marcia Terra da Silva, Rodrigo Franco Gonçalves, and José B. Sacomano. Industry 4.0 and sustainability implications : A scenario-based analysis of the impacts and challenges. *Sustainability*, 10(10), 2018.

[7] Frédéric Bordage, Fabien Abrikh, Annaïg Antoine, Hugues Ferreboeuf, Julie Orgelet, Olivier Vergeynst, Céline Berthaut, Geneviève Van Diest, Nicole Paul, La Félixe, Bertrand Keller, and Sébastien Delorme. Empreinte environnementale du numérique mondial.

[8] Robert Colvile. *The Great Acceleration : How the World is Getting Faster, Faster*. Bloomsbury USA, 2016.

[9] Vlad Coroama, Åsa Moberg, and Lorenz Hilty. *Dematerialization Through Electronic Media ?*, volume 310, pages 405–421. 08 2014.

[10] N. Coulombel, V. Boutueil, L. Liu, V. Viguié, and B. Yin. Substantial rebound effects in urban ridesharing : Simulating travel decisions in Paris, France. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 71 :110–126, 2019.

[11] Teddy Delaunay. *L'intégration du covoiturage dans le système de mobilité francilien : hybrider le transport collectif et individuel pour asseoir l'hégémonie de l'automobile ?* PhD thesis, 2018. Thèse de doctorat dirigée par Baron-Yellès, Nacima Aménagement de l'espace, Urbanisme Paris Est 2018.

[12] Damien Demailly, Valentina Carbone, Aurélien Acquier, David Massé, Dominique Roux, Simon Borel, Florence Benoît-Moreau, Valérie Guillard, Beatrice Parguel, Flore Berlingen, Maelle Cappello, Arthur De Grave, and Benjamin Tincq. L'économie collaborative : réservoir d'innovations pour le développement durable.

[13] Damien Demailly, Mathieu Saujot, Renaud Francou, Daniel Kaplan, Jacques François Marchandise, Marine Braud, Aurélie Pontal, Frédéric Bordage, and François Levin et Jan Krewer. Livre blanc numérique et environnement : Faire de la transition numérique un accélérateur de la transition écologique, 2018.

[14] Nathan Ensmenger. The environmental history of computing. *Technology and Culture*, 59 :S7–S33, 01 2018.

[15] Hugues Ferrebœuf, Olivier Ridoux, et al. LEAN ICT, Pour une sobriété numérique. Technical report, The SHIFT Project, France, Mars 2018. Rapport de travail intermédiaire.

[16] International Organization for Migration (IOM). *Migration and climate change*, volume 31 of *IOM Migration Research Series*.

[17] Institute for Transportation & Development Policy. Three revolutions in urban transportation, 2017.

[18] Javier Gomez. *Optimisation des transports et mobilité durable : le cas des applications géolocalisées sur téléphone mobile*. PhD thesis, 2011. Thèse de doctorat dirigée par Puel, Gilles Sciences de gestion Evry, Institut national des télécommunications 2011.

[19] Cédric Gossart. Rebound effects and ICT : a review of the literature. In *ICT innovations for sustainability*, volume 310 of *Advances in intelligent systems and computing*, pages 435 – 448. Springer, 2015.

[20] International Energy Agency (IEA). Digitalization & energy.

[21] IPCC. Special report of the intergovernmental panel on climate change (ipcc) on global warming of 1.5 c.

[22] Jonathan G. Koomey, H. Scott Matthews, and Eric Williams. Smart everything : Will intelligent systems reduce resource use ? *Annual Review of Environment and Resources*, 38(1) :311–343, 2013.

[23] Jens Malmodin and Dag Lundén. The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. 10(9) :3027.

[24] The Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI). Gesi smarter 2020 : The role of ict in driving a sustainable future.

[25] The Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI). Smart 2020 : Enabling the low carbon economy in the information age.

[26] Christina Pakusch, Gunnar Stevens, Alexander Boden, and Paul Bossauer. Unintended effects of autonomous driving : A study on mobility preferences in the future. *Sustainability*, 10 :2404, 07 2018.

[27] Johanna Pohl, Lorenz M. Hilty, and Matthias Finkbeiner. How lca contributes to the environmental assessment of higher order effects of ict application : A review of different approaches. *Journal of Cleaner Production*, 219 :698 – 712, 2019.

[28] Sophie Quinton. Automotive system design : Challenges of the anthropocene. *Dagstuhl Report on Future Automotive HW/SW Platform Design (Dagstuhl Seminar 19502)*, 9(12) :47–49, 2019.

[29] Miriam [Börjesson Rivera], Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt, and Göran Finnveden. Including second order effects in environmental assessments of ict. *Environmental Modelling & Software*, 56 :105 – 115, 2014. Thematic issue on Modelling and evaluating the sustainability of smart solutions.

[30] François Schneider. *Sur l'importance de la décroissance des capacités de production et de consommation dans le Nord Global pour éviter l'Effet Rebond*, pages 197–214. Collection Ecologica. 2009.

[31] WWF Sweden. The potential global co2 reductions from ict use.

[32] Synopsys. What is an autonomous car ?

[33] Morteza Taiebat, Samuel Stolper, and Ming Xu. Forecasting the impact of connected and automated vehicles on energy use : A microeconomic study of induced travel and energy rebound. *Applied Energy*, 247 :297 – 308, 2019.

[34] Zia Wadud, Don MacKenzie, and Paul Leiby. Help or hindrance ? the travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 86 :1 – 18, 2016.