



HAL
open science

L'informatique en temps de crises environnementales : comment adapter la recherche et l'enseignement ?

Aurélie Bugeau, Anne-Laure Ligozat

► To cite this version:

Aurélie Bugeau, Anne-Laure Ligozat. L'informatique en temps de crises environnementales : comment adapter la recherche et l'enseignement ?. 2024. hal-04850517

HAL Id: hal-04850517

<https://hal.science/hal-04850517v1>

Preprint submitted on 20 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

L'informatique en temps de crises environnementales : comment adapter la recherche et l'enseignement ?

Aurélie Bugeau¹ and Anne-Laure Ligozat²

¹Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, LaBRI, UMR5800, IUF F-33400 Talence, France;
firstname.lastname@labri.fr

²Université Paris-Saclay, CNRS, ENSIIE, Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du
Numérique, 91400, Orsay, France; firstname.lastname@lisn.upsaclay.fr

2024

1 Introduction

Pour répondre aux défis sociaux et écologiques, nous devons transformer en profondeur nos sociétés et rendre ces métamorphoses désirables pour toutes et tous [Ademe, 2024]. Cela implique de renouveler nos représentations et nos imaginaires collectifs à travers de nouveaux récits et de réajuster notre symbolique en diffusant des valeurs et des normes sociales plus respectueuses du vivant et de l'humain. Pour les scientifiques, il peut s'agir de repenser notre représentation des sciences afin de s'orienter vers une science impliquée articulée autour des notions de science ouverte, de science plurielle, de science fiable et de science responsable [Coutellec et Jean, 2024].

Les crises environnementales actuelles amènent ainsi de nombreux chercheurs et chercheuses à se poser la question de la place de leurs recherches : Quel est le rôle des scientifiques dans ces crises ? Est-ce que la recherche peut continuer en business-as-usual ? Et côté enseignement, à quoi pouvons-nous former les étudiantes et étudiants pour qu'ils et elles soient utiles à des sociétés faisant face à ces crises ?

En informatique en particulier, ces questions ont émergé, par exemple dans le groupe MakeSense d'INRIA [Berthoud *et al.*, 2019], qui recommande une prise de recul pour réfléchir aux conséquences de ses contributions sur la société et sur l'environnement, et propose notamment d'organiser des débats dans les centres INRIA. L'avis du comité d'éthique du CNRS va dans le même sens dans son rapport sur l'éthique environnementale de la recherche, en recommandant au CNRS et aux personnels de recherche de «[m]ultiplier les espaces de discussion permettant à l'ensemble des personnels de recherche de débattre des enjeux et contours de cette responsabilité».

En effet, il est difficile de répondre à ces questions de façon individuelle, en particulier car cela nécessite des réflexions systémiques et interdisciplinaires. Il est donc important de disposer d'espaces et de procédés de discussion collectifs afin de bénéficier de points de vue et connaissances variées. De tels espaces ont émergé ces dernières années, comme par exemple dans le collectif Labos 1point5, dans les Atecopol ou dans des groupes internes aux laboratoires et universités.

Afin de créer de tels espaces spécifiques à l'informatique, nous avons initié des discussions dans la communauté informatique - élargie à des chercheurs et chercheuses qui travaillent sur le numérique en tant qu'objet d'étude - à travers deux types de dispositifs : des ateliers prospectifs, qui cherchaient à imaginer les évolutions du numérique et les conséquences sur l'enseignement et la recherche en informatique, lancés dans le cadre du collectif EcoInfo et un atelier Prospective et recherche en informatique, dont l'objectif était d'aboutir à de nouvelles questions de recherche. Notons que ces deux ateliers sont complémentaire aux ateliers SEnS¹, qui visent à réfléchir à la correspondance entre nos résultats de recherche et nos valeurs, la dernière partie du déroulé consistant en effet à amorcer un travail commun de prospective à l'horizon 2040.

Dans cet article, nous présenterons rapidement les caractéristiques des deux ateliers expérimentés et leurs résultats. Nous dressons quelques conclusions pour s'emparer des discussions sur les évolutions possibles du numérique dans le contexte socio-environnemental présent et à venir.

2 Informatique et crises environnementales

La recherche en informatique contribue à la numérisation de nos sociétés. Or cette numérisation a des impacts environnementaux négatifs : impacts dits de 1er ordre dus au cycle de vie des équipements numériques ; et

1. <https://sens-gra.gitlabpages.inria.fr/atelier-impacts-recherche/>

impacts dits de 2e et 3e ordre lorsqu'ils aggravent la pollution dans d'autres secteurs, par exemple via des algorithmes de recommandation qui incitent à la surconsommation. Ces impacts de 2e et 3e ordre peuvent également être positifs, par exemple lorsqu'un dispositif intelligent pour un bâtiment réduit sa consommation d'énergie, mais plusieurs études montrent les limites de ces applications [Ligozat *et al.*, 2022, Rasoldier *et al.*, 2022], voire questionnent les bénéfices potentiels dans des cas d'usage réels².

Or la recherche en informatique se pose généralement peu la question de la pertinence des futurs technologiques dans lesquels elle s'inscrit au regard des crises socio-environnementales. Cette question commence néanmoins à émerger dans les documents de prospective (e.g. rapport de prospective 2023 de l'institut d'informatique du CNRS aborde cette question [Sassatelli *et al.*, 2023]).

En outre, le numérique risque de devoir évoluer dans les années à venir du fait des changements environnementaux menant par exemple à la hausse des températures, à la raréfaction des matières premières, ou à des limitations de la consommation en eau. Ces évolutions posent des questions de résilience et d'adaptation des infrastructures numériques, qui sont actuellement peu étudiées (hormis dans quelques communautés comme LIMITS³ par exemple).

3 Ateliers organisés ou Comment repenser l'enseignement et la recherche en informatique ?

Repenser l'enseignement et la recherche en informatique dans les crises environnementales nécessite des lieux et des temps de discussion afin d'envisager les futurs souhaitables et ceux à éviter. Ces échanges doivent permettre d'échanger des points de vue diversifiés pour faire émerger les sujets devant faire l'objet d'attention et pour penser le numérique du futur. Nous avons pour cela expérimenté deux ateliers de prospective, décrits dans cette section, permettant d'amorcer des réflexions sur les évolutions du numérique et sur les questions de recherche sous-jacentes.

3.1 Ateliers de prospective EcoInfo

En 2022, un groupe de travail s'est constitué au sein du collectif EcoInfo pour travailler sur ces questions de prospective. Nous avons pour cela été accompagnés par Philippe Durance, Professeur du Cnam et titulaire de la chaire de Prospective et Développement durable des entreprises, des territoires et des réseaux via plusieurs entretiens en visioconférence.

Pour commencer, nous avons précisé la question à laquelle nous souhaitions répondre de la façon suivante : «L'avenir du numérique en Europe à l'horizon 2035 : quelles conséquences pour l'enseignement et la recherche en informatique en France?».

L'objectif a été défini comme suit : «Cet atelier de prospective a pour objectifs d'identifier les facteurs qui pourraient influencer l'avenir de l'enseignement et de la recherche en informatique en Europe à l'horizon 2035, d'en apprécier la maîtrise actuelle par les acteurs et actrices de ce domaine pour déterminer les facteurs critiques pour leur avenir et faire émerger quelques enjeux clés.»

La date de 2035 a été choisie comme suffisamment lointaine pour autoriser des évolutions ambitieuses, mais suffisamment proche pour que la continuité avec le présent soit facile à imaginer.

Les ateliers étaient prévus en 4 étapes :

1. Élaboration d'une liste globale de facteurs de changement qui pourraient avoir un impact sur le sujet étudié à l'horizon donné ;
2. Évaluation de ces facteurs en termes d'importance ;
3. Évaluation des facteurs importants en termes de maîtrise par les acteurs et actrices (facteurs critiques) ;
4. Analyse des conséquences de ces facteurs critiques pour les acteurs et actrices et l'identification des enjeux clés pour leur avenir.

Quatre ateliers ont été organisés au premier semestre 2022, dans des communautés principalement informatiques : le premier atelier a été organisé en interne à EcoInfo pour une première expérimentation avec neuf participantes et participants qui avaient participé à l'élaboration de la question posée ; le second a été organisé lors des journées EcoInfo avec une vingtaine de participantes et participants ; le troisième a été organisé au Laboratoire d'Informatique et des Sciences du Numérique (LISN) à Paris-Saclay, avec six participantes et participants ; et le quatrième au Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI) avec dix participantes et participants.

2. <https://learninglab.gitlabpages.inria.fr/mooc-impacts-num/mooc-impacts-num-ressources/Partie1/FichesConcept/FC1.4.3-CalculImpactsPositifsNumerique-MoocImpactNum.html>

3. <https://computingwithinlimits.org/>

3.2 Atelier Prospective et recherche en informatique (PRI)

Nous avons également organisé un deuxième type d’atelier en janvier 2024 qui visait à faire émerger de nouvelles questions de recherche.

Nous avons préalablement réalisé un recensement de la place des technologies et applications du numérique dans différents travaux de prospective [Bugeau et Ligozat, 2024a, Bugeau et Ligozat, 2024b] et constaté que tous les scénarios considèrent le numérique présent dans le futur. Peu remettent en question notre relation au numérique et sont en rupture avec les technologies utilisées aujourd’hui. Pourtant, de nombreux imaginaires alternatifs existent. L’idée de l’atelier était de transformer ces imaginaires en scénarios alternatifs souhaitables et en questions de recherche en informatique.

Nous avons choisi 15 participantes et participants ayant déjà travaillé sur les questions des impacts environnementaux ou sociaux du numérique : chercheurs et chercheuses dans ce domaine ou ingénieures spécialistes de ces questions. Pour la conception et l’animation de cet atelier, nous avons été accompagnés par Gauthier Roussilhe (doctorant au RMIT), Thomas Thibault (Designer numérique et écologie et co-fondateur de Limites Numériques) et Sophie Quinton (CR Inria).

Avant l’atelier, des entretiens avaient été menés avec des interlocuteurs et interlocutrices possédant des compétences variées : responsable de la longévité logicielle chez Fairphone, responsable du laboratoire d’innovation numérique de la CNIL (LINC), sociologue en sciences de la communication, philosophe spécialisé dans l’épistémologie et l’histoire des sciences et des techniques... Des extraits de ces entretiens, proposant des visions sur l’avenir du numérique et le rôle des chercheuses et chercheurs en informatique, ont été diffusés aux participantes et participants en début d’atelier pour susciter des réflexions. Puis les participantes et participants réfléchissaient en petits sous-groupes à des briefs proposant un exemple de problématique questionnant le futur du numérique. Un exemple de brief peut être consulté dans l’annexe A.

La réflexion se faisait en plusieurs temps, commençant par une lecture du brief et une discussion sur les signes avant-coureurs actuels qui pourraient amener à cette histoire. Puis il s’agissait de déterminer les questions de recherche (toutes disciplines confondues) que le scénario pose si : on accepte de répondre au problème tel qu’il est posé ; ou au contraire on refuse de répondre au problème tel qu’il est posé en proposant une alternative radicalement différente, une autre manière de poser le problème ou même de contre-pouvoir ; ou enfin on essaie de prévenir dès maintenant pour que ce scénario n’advienne pas, ou pas complètement.

4 Résultats

Nous présentons dans cette section les facteurs d’évolutions du secteur du numérique, les moyens d’action et les questions de recherche qui ont émergé dans chacun des ateliers.

4.1 Ateliers de prospective EcoInfo

Lors des ateliers de prospective EcoInfo, il était tout d’abord demandé aux participantes et participants d’identifier une liste de facteurs de changement. Nous avons classés les facteurs identifiés autour de 8 thématiques : évolution du numérique, évolution des pratique de la recherche, évolution de l’enseignement supérieur, évolution de l’ESR, évolution de l’enseignement secondaire, évolution politiques et sociales, évolution sur le plan environnemental, évolution sur le plan médical. Le tableau 1 montre des exemples de facteurs qui ont été considérés comme étant vraisemblables et ayant un fort impact potentiel.

Thématiques	Exemple de facteurs à fort impact
Numérique	<ul style="list-style-type: none"> • Intégration croissante des algorithmes d'apprentissage automatique dans les outils numériques • Dé-personnalisation des services : moins de collecte de données • Retour des humains à la place des machines dans les services (poste, sncf...) • Interdiction de la vente d'équipement non réparable • Arrivée de l'informatique quantique et résolution d'un grand nombre de problèmes jusque là intraitables • Stagnation de la puissance et de l'efficacité des processeurs (stagnation technologique) • Pénurie perpétuelle des ressources permettant la construction de nouvelles machines • Augmentation des actes de sabotage et de malveillance sur les infrastructures numériques (antennes, fibres, câbles...)
Recherche	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de quotas carbone pour les missions • Augmentation de la distance entre recherche chaude et froide (recherche "à la mode" ou pas) • Changement d'orientation de la recherche des laboratoires vers des enjeux environnementaux
Enseignement	<ul style="list-style-type: none"> • Création/ augmentation des heures d'enseignement de la philosophie des techniques dans les cursus scientifiques dans le supérieur • Étudiants hétérogènes et cours multidisciplinaire SHS (plus de cours en silo, étudiant-es venant de partout et avec des niveaux disparates) • Montée en puissance de l'IA associée à des Mooc de nouvelle génération qui accélèrent la fermeture de certaines filières d'enseignements en informatique • Innovations pédagogiques rematérialisées (tableau, craie, feuilles, jeux de rôles etc) • Augmentation de la masse démographique d'étudiants
ESR	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite et aggravation de l'instrumentalisation de la recherche académique à des fins économiques • Investissement massif de géants du numérique dans l'ESR : contrats, cours • Diminution des postes et le manque de personnes souhaitant poursuivre des carrières académiques • Augmentation des fusions d'établissement • Diminution de l'attention portée aux critères de prestige • Diminution de la pression sur l'innovation • Augmentation de la recherche et formation dans le privé • Évolution ("positive ou négative") des salaires de l'ESR, de l'attractivité de l'ESR et du statut de fonctionnaire
Enseignement secondaire	<ul style="list-style-type: none"> • Programmation enseignée massivement dès l'école primaire ou le collège • Équipement de toutes les salles de classe à partir du CP avec du matériel numérique (un poste/élève) dans le but de suppléer le manque d'enseignant.es
Politiques et sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'égalité, justice et mixité • Guerre mondiale • Abolition du statut de fonctionnaire • Politisation des connaissances scientifiques
Environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplication des phénomènes climatiques extrêmes • Généralisation de la quantification environnementale multi-critères (pas uniquement empreinte carbone) • Augmentation des tensions sur l'approvisionnement énergétique, résultant en une augmentation de la fréquence des coupures électriques • Diminution des matières premières et mise en place de quota
Médical	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la maladie de l'informaticien (maux de dos par ex.)

TABLE 1 – Exemples de facteurs vraisemblable et à fort impact potentiel identifiés par les participant-e-s .

Ces résultats montrent une grande diversité des facteurs pouvant avoir une influence sur la recherche et l'enseignement supérieur en informatique. L'étape suivante consistait à évaluer la préparation et la maîtrise des acteurs et actrices face à ces évolutions. Nous observons que les facteurs sont au mieux "un sujet de préoccupation" mais d'après les participantes et participants, la plupart des facteurs sont au stade "aucun moyen n'est concrètement mis en oeuvre pour répondre aux principales conséquences".

À la suite, une sélection des facteurs les plus critiques (i.e. aux conséquences importantes et faiblement

maîtrisés par les acteurs et actrices) était réalisée. Pour chacun, il s'agissait alors de discuter des enjeux pour les acteurs et actrices et de pistes d'actions. Voici quelques exemples :

- Poursuite et aggravation de l'instrumentalisation de la recherche académique à des fins économiques (atelier 1 EcoInfo)
 - Enjeux : influence les thématiques de recherche ; démotivation des personnels de l'ESR déjà en poste ; trahison des clercs ; perte de temps pour monter des projets ; perte de confiance de la société vis-à-vis du monde académique ; inéquité entre les équipes qui arrivent à s'en affranchir et les autres ; mise en compétition des laboratoires avec des entreprises n'ayant pas les mêmes moyens
 - Actions : plus de contrôle sur la médiatisation/diffusion des travaux et résultats de la recherche en informatique par les chercheurs et chercheuses elles mêmes ; choix collectif des orientations scientifiques ; intégrer les SHS et la société civile dans les labos de recherche en informatique...
- Augmentation des pénuries des composants électroniques (atelier 2 EcoInfo)
 - Enjeux : Délai pour commander de nouvelles machines, critique dans l'informatique
 - Actions : sensibiliser les utilisateurs dès qu'ils demandent une nouvelle machine ; machine standard, petits écrans, garantie longue ; remettre à la mode les machines moins puissantes, plus anciennes ; le fait de ne pas comprendre ajoute de la complexité inutile dans un code, ce qui l'alourdit
- Limitation des voyages par deux (atelier LISN)
 - Enjeux : moins de conférences présentiels ; moins d'interactions présentiels ; publications de meilleure qualité (plus de sélectivité sur les conférences ou revues choisies) ; moins de conférences pour les jeunes ce qui serait pénalisant pour leur carrière
 - Actions : augmentation des conférences hybrides ; augmentation des publications en revue ; faire partir les juniors en conférence plutôt que les seniors ; faire des conférences dans des villes universitaires accessibles en train, éviter les lieux paradisiaques mais difficiles d'accès
- Plus de prise en compte de l'humain dans les outils numériques (atelier LaBRI)
 - Enjeux : influence les thématiques de recherche, plus de recherche pluri-disciplinaire ;
 - Actions : travailler avec les sciences cognitives, meilleur encadrement d'internet et des réseaux sociaux, amélioration de l'ergonomie, ré-humanisation de certains services, dénumérisation

4.2 Atelier PRI

À partir des briefs, des questions de recherche ont émergé dans les différents groupes. Celles-ci peuvent être :

- principalement informatiques, numériques ou télécom, comme par exemple «Travailler sur le mode déconnexion/hors connexion ?», « Comment faire du numérique avec moins de métaux ? », «Quelle informatique minimale et comment faire des expérimentations ?»
- ou nécessiter des travaux interdisciplinaires : «Comment identifier des usages numériques critiques (qui mettent en danger les usagers) si il y a une rupture de connexion ou rupture totale d'énergie, de connexion, d'alimentation», «Quelles stratégies sociotechniques, politiques, économiques pour des technologies numériques réellement durables et sobres ?», «Est-ce toujours utile de faire des modèles pour répondre à des problématiques environnementales ou sociétales ?»

Notons qu'une part importante des questions étaient interdisciplinaires. La liste complète des questions de recherche est disponible en annexe [B](#).

5 Discussions

Discuter de l'évolution de l'enseignement et de la recherche en informatique nécessite du temps et des espaces dédiés, et est particulièrement demandé par toutes celles et ceux qui questionnent le sens de leur travail dans le contexte environnemental actuel. Les échanges lors des ateliers ont été très riches et permettent de tirer quelques conclusions et recommandations.

De nombreux facteurs de changement pourraient toucher l'informatique. Comme l'ont montré les ateliers EcoInfo, de nombreux facteurs peuvent avoir un impact sur le domaine de l'informatique et l'évolution de la thématique concerne différents aspects : changement des usages et nouvelles technologies, sécurité informatique, évolutions politiques et sociales, évolution sur le plan environnemental.

Les connaissances environnementales influencent les résultats. À la suite des ateliers EcoInfo, nous avons observé que si les participantes et participants n'ont pas intégré les enjeux environnementaux dans leur travail, les risques liés ne ressortent pas ou peu dans les facteurs. Ainsi les facteurs identifiés dans le cadre des laboratoires étaient moins centrés environnement que ceux identifiés par les participantes et participants EcoInfo. Étant donné l'effondrement environnemental actuel, il semblerait ainsi nécessaire que les chercheurs et chercheuses puissent être formés largement et rapidement sur ces questions, pour pouvoir repenser leurs recherches sous ce

prisme.

Un cadrage trop fort peut brider l'imagination. Les briefs de l'atelier PRI se sont montrés trop cadrants pour certains groupes. Cela empêche certains imaginaires d'émerger et rend plus difficile les discussions. Les valeurs et des normes sociales souhaitées par chaque participant et participante doivent pouvoir trouver leur place dans les briefs ou dans l'émergence de scénarios alternatifs. Cela rejoint les objectifs de l'atelier SEnS dont l'un des objectifs est de mettre en lueur les valeurs véhiculées par la recherche scientifique. Cependant, certaines participantes et participants ont au contraire apprécié d'avoir un ancrage très concret pour discuter de l'évolution de l'informatique.

L'abandon de certaines recherches n'est pas explicité Parmi les actions proposées et questions de recherche, aucune n'aborde l'arrêt de certains sujets de recherche. Certains ateliers ont évoqué la réorientation des thématiques scientifiques ou l'apparition de nouvelles thématiques de recherche mais sans explicitement parler d'abandon de certaines thématiques.

Les échanges pluri-disciplinaires enrichissent les discussions L'atelier PRI a regroupé des participantes et participants de différentes disciplines et occupant différents emplois. Toutes et tous ont souligné que cet aspect a nettement favorisé la richesse des discussions.

Les impacts environnementaux du numérique sont encore mal connus Au cours des différents ateliers, les chercheuses et chercheurs issus de différentes disciplines travaillant sur des thématiques en lien avec les impacts environnementaux du numérique ont fait le constat qu'il y a de nombreux manques de connaissance et de la science non faite sur les impacts environnementaux du numérique, leurs conséquences sur la société et sa résilience, et les éco-systèmes. Cela met en avant le besoin d'augmenter la recherche, en particulier interdisciplinaire, sur ces sujets.

Les scénarios dans lequel se positionnent les participantes et participants doivent être explicités. Une différence entre les différents ateliers, outre les connaissances préalables sur la place du numérique dans le contexte environnemental, était vraisemblablement le positionnement dans des scénarios de transition distincts. Il pourrait être intéressant d'évaluer les résultats obtenus en explicitant, préalablement aux discussions sur le numérique, dans quel scénario de transition se positionne l'atelier (par exemple quel scénario parmi les quatre de l'Ademe [Ademe, 2021]). Cela permettrait d'imaginer à quoi peuvent ressembler les modes de vie [Flipo, 2020] et l'ampleur et la rapidité des changements à considérer.

Les enjeux de transition doivent être intégrés par les communautés de recherche Les questions autour du rôle de l'enseignement et de la recherche ont émergé ces dernières années. Y répondre nécessite que l'ensemble des communautés se les approprient. Un éventail plus large de participantes et participants permettrait de sensibiliser plus largement la communauté et que les points de vue soient plus variés dans les discussions. Des consensus et dissensus pourraient alors être explicités et mieux pris en compte dans les exercices de prospective. La prospective est un des outils pour discuter des recherches à mener et à ne pas mener, mais d'autres ateliers et lieux de discussion sont complémentaires. Il est crucial d'échanger sur rôle de la recherche en informatique dans le contexte environnemental actuel. Le comité d'éthique du CNRS notamment incite les chercheurs et chercheuses à prendre en compte «l'impact environnemental négatif ou positif que le choix de tel ou tel sujet de recherche et de telle ou telle voie pour le traiter peut engendrer pour l'environnement au sens large, à court, moyen ou long terme». Le choix des thématiques de recherche, ainsi que des financements, pourrait ainsi être repensé, en veillant à préserver la liberté académique des chercheurs et chercheuses.

6 Remerciements

Les autrices tiennent à remercier Philippe Durance pour son introduction à la prospective et son accompagnement dans la mise en place de l'atelier EcoInfo. Nous remercions également Gauthier Roussilhe et Thomas Thibault pour le design et l'organisation du second atelier (PRI). Merci également à Sophie Quinton pour sa participation à la finalisation et l'animation de l'atelier PRI, mais aussi pour les échanges toujours très enrichissants sur les questions de prospectives et de controverses. Enfin, nous remercions l'ensemble des participantes et participants aux ateliers.

Références

[Ademe, 2021] ADEME (2021). Transition(s) 2050.

- [Ademe, 2024] ADEME (2024). Nouveaux récits.
- [Berthoud *et al.*, 2019] BERTHOUD, F., GUITTON, P., LEFÈVRE, L., QUINTON, S., ROUSSEAU, A., SAINTE-MARIE, J., SERRANO, C., STEFANI, J.-B., STURM, P. et TANNIER, E. (2019). Sciences, environnements et sociétés. Rapport technique, Inria.
- [Bugeau et Ligozat, 2024a] BUGEAU, A. et LIGOZAT, A.-L. (2024a). Analysing ICT in prospective scenarios to help reveal undone computer science. *In Undone Computer Science conference*, Nantes (France), France.
- [Bugeau et Ligozat, 2024b] BUGEAU, A. et LIGOZAT, A.-L. (2024b). How digital will the future be? *In LIMITS workshop*.
- [Clare *et al.*, 2023] CLARE, M., YEO, I., BRICHENO, L., AKSENOV, Y., BROWN, J., HAIGH, I., WAHL, T., HUNT, J., SAMS, C., CHAYTOR, J., BETT, B. et CARTER, L. (2023). Climate change hotspots and implications for the global subsea telecommunications network. *Earth-Science Reviews*, 237:104296.
- [Coutellec et Jean, 2024] COUTELLEC, L. et JEAN, K. (2024). La bifurcation écologique de la recherche scientifique : une nécessité éthique et politique. *Natures Sciences Sociétés*.
- [Durairajan *et al.*, 2018] DURAIRAJAN, R., BARFORD, C. et BARFORD, P. (2018). Lights out : Climate change risk to internet infrastructure. *In Proceedings of the 2018 Applied Networking Research Workshop*, ANRW '18, page 9–15, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Flipo, 2020] FLIPO, F. (2020). *L'impératif de la sobriété numérique : l'enjeu des modes de vie*. Éd. Matériologiques.
- [Ligozat *et al.*, 2022] LIGOZAT, A.-L., LEFEVRE, J., BUGEAU, A. et COMBAZ, J. (2022). Unraveling the hidden environmental impacts of ai solutions for environment life cycle assessment of ai solutions. *Sustainability*, 14(9):5172.
- [Rasoldier *et al.*, 2022] RASOLDIER, A., COMBAZ, J., GIRAULT, A., MARQUET, K. et QUINTON, S. (2022). How realistic are claims about the benefits of using digital technologies for ghg emissions mitigation? *In LIMITS 2022-Eighth Workshop on Computing within Limits*.
- [Sassatelli *et al.*, 2023] SASSATELLI, G., LE TREUST, M., URBAIN, X., ARTIÈRES, T., ILCINKAS, D., CAUDRELIER, M., APPERT, C., CHANUSSOT, J., DI MOLFETTA, G., FONTAINE, C., FROMONT, E., JOURDAN, L., LE BERRE, D., MARTINEZ, D., NICULESCU, S.-I., PRONZATO, L., SCHWARTZ, J.-L., SERVICINE, S., TASSON, C., TREBOSC, D. et VENDITELLI, M. (2023). Rapport de Prospective du Conseil Scientifique de l'Institut des Sciences Informatiques et leurs Interactions (INS2I). Rapport technique.

A Exemple de brief

Gérer les ruptures de connexion pour une métropole

Qui ? Une métropole française de l'Ouest comptant plus de 6000 agents et utilisant 300 logiciels propriétaires (ou non) pour gérer les services de plus de 1,5 millions d'habitants (carte bibliothèque, carte de transports, démarches usuelles, etc.). Elle est de plus en plus exposée à des événements climatiques extrêmes (tempêtes, submersions, incendies).

Scénario Les ruptures de connexion fixe/mobile sur notre territoire sont aujourd'hui évaluées à 22 jours/an/habitant alors qu'ils n'étaient que de 5 jours il y a 10 ans. Certains de nos services numériques sont essentiels pour nos citoyens et les ruptures de connexion produisent des effets de plus en plus délétères (accès aux transports, accès aux installations publiques, etc.). Nous aimerions que notre bouquet de services numériques soient plus résilients face aux événements climatiques qui frappent notre ville et ses infrastructures afin que la durée des ruptures de connexion baissent et qu'elles soient moins fréquentes.

Quel enjeu ?

- Réduction de la numérisation d'un service ou d'un processus
- Adaptation des infrastructures et des services numériques aux nouveaux risques environnementaux

Dossiers de documents

- Carte de l'Arcep sur l'état des réseaux mobiles lors des tempêtes Ciaran et Domingos sur les réseaux telecom
- Risque du changement climatique du les infrastructures internet [Durairajan *et al.*, 2018]
- Présentation sur la résilience des réseaux (Infranum)
- Panne géante à Brest (article France 3 Régions)

- China floods : ‘Digital dark age’ after disaster wreaks havoc on internet and electricity ([article de SCMP](#))
- Risques climatiques, réseaux et interdépendances : le temps d’agir [France Stratégie](#)
- Climate change hotspots and implications for the global subsea telecommunications network [[Clare et al., 2023](#)]
- Dématérialisation des services publics : trois ans après, où en est-on ? (Rapport [Défenseur des droits](#))

B Questions de recherche de l’atelier PRI

Cette annexe liste l’ensemble des questions de recherche définies par les participantes et participants lors de l’atelier PRI.

- Quelles sont les inégalités d’accès aux services publics et seront-elles renforcées par les catastrophes et la numérisation ?
- Comment on ré-organise le travail pour ne pas qu’il incombe aux plus opprimés ? et pour faire avec la difficulté physique
- A quel moment/quelles conditions, est-ce que ça devient plus intéressant de dénumériser (un service public) que de travailler à élaborer et faire marcher en mode dégradé ?
- Comment sont déterminés les modes hors connexion / connexion des solutions techniques numériques dans différents secteurs d’activité ? Comment ça se traduit matériellement ?
- Pour dépasser la question de la non-numérisation, travailler sur le mode déconnexion/hors connexion. Quelles autres formes moins binaires ? Des solutions techniques synchrones pour les métropoles ? Comment éviter la dépendance à une connexion continue.
- Comment identifier des usages numériques critiques (qui mettent en danger les usagers) si il y a une rupture de connexion ou rupture totale d’énergie, de connexion, d’alimentation ?
- Besoin de cartographier les dépendances réseau des services numériques les plus "critiques". Quels sont les différentes interdépendances des services critiques (ex : si une antenne mobile tombe en panne). Décrire l’organisation des réseaux et leur résilience
- Comment organise-t-on la gestion des réseaux ? Répartition des responsabilités, entretien/maintenance, sécurisation ?
- Quelle intermittence aujourd’hui et quels impacts sur les usagers ? Distinguer les formes de non accès au delà d’une quantité heure/jour. Quelles inégalités d’accès aujourd’hui ?
- Dans quelle mesure les ruptures de connectivité peuvent-elles permettre de repenser les formes d’organisation moins connectés et plus respectueuses des travailleurs et usagers ?
- Comment faire pour que les infrastructures ne profitent pas qu’aux plus puissants ?
- Réfléchir à des scénarios no-IT (sans numérique, sans énergie). Par exemple, comment préserver le vital (hôpitaux) sans être connectés. Comment apprendre des crises (ex : Covid) pour penser des scénarios qui ne détruisent pas le vivant. Comment s’organiser pour préserver le vital déconnecté ?
- Quels sont les aspects sous-jacents à une réduction de l’offre de service numérique.
- Comment repenser une infra-réseau du matériel aux usages ? Comment comprendre et diagnostiquer l’état d’une infrastructure ? À qui assigner cette tâche, le suivi, la maintenance, la remise en état, en temps normal et en cas d’urgence ? Quels outils informatiques ?
- Comment négocier les usages en cas de services dégradés, ce qui est prioritaire, quels outils pour décider et mettre en place ?
- Matérialité numérique : Comment les procédés ont évolué dans le temps pour savoir comment revenir en arrière ?
- Comment faire du numérique avec moins de métaux ? Quelles contraintes ? Quelle efficacité garde-t-on ?
- Pourquoi les smartphones actuels ne peuvent pas déjà durer 20 ans ? 3 axes : Matériel/logiciel ; usages/services ; imaginaire/marketing
- Comment fabriquer des ordinateurs très très low-tech ? Est-ce qu’on peut faire des ordinateurs "en bois" ?
- Qu’est-ce qu’il faut changer dans la démarche de conception de l’informatique pour qu’on sache faire des objets informatiques limités (pas à mettre à jour, pas d’accroissement de performance)
- Quelles stratégies sociotechniques, politiques, économiques pour des technologies numériques réellement durables et sobres ?
- Comment embarquer les personnes et l’industrie, dans un chemin de transitions ?
- Est-ce qu’on connaît les limites planétaires ? Quelles nouvelles normes et valeurs sociétales ? Comment cheminer vers cette société alternative ?
- Quelle informatique minimale et comment faire des expérimentations (pro/collective) là-dessus ?
- Quelle posture pour une recherche ancrée dans les réalités sociales et produire des changements ?
- Analyse critique de la sur-spécialisation.
- Est-ce toujours utile de faire des modèles pour répondre à des problématiques environnementales ou sociétales ? et sinon quels critères ?
- Quelles sont les frontières de l’informatique ?