
Matérialités environnementales du numérique

Loup Cellard et Clément Marquet

**Édition électronique**

URL : <https://journals.openedition.org/reset/6203>

DOI : 10.4000/14adk

ISSN : 2264-6221

Traduction(s) :

Environmental Materialities of Digital Technology - URL : <https://journals.openedition.org/reset/6230>
[en]

Éditeur

Association Recherches en sciences sociales sur Internet

Référence électronique

Loup Cellard et Clément Marquet, « Matérialités environnementales du numérique », *RESET* [En ligne], 15 | 2025, mis en ligne le 03 juillet 2025, consulté le 12 février 2026. URL : <http://journals.openedition.org/reset/6203> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/14adk>

Ce document a été généré automatiquement le 12 février 2026.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-SA 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont susceptibles d'être soumis à des autorisations d'usage spécifiques.

Matérialités environnementales du numérique

Loup Cellard et Clément Marquet

Introduction

- 1 En 2023, lors de l'écriture de l'appel à contribution de ce numéro thématique, nous étions interpellés par l'institutionnalisation croissante de la prise en compte des enjeux environnementaux du numérique en France. Cette institutionnalisation se manifestait notamment par une série de rapports d'évaluation environnementale produits par des acteurs experts comme The Shift Project (The Shift Project, 2018) et GreenIT (Bordage et al., 2020), puis par l'Arcep¹ et l'Ademe² (Lees Perasso et al., 2022), ainsi que par une activité réglementaire avec l'adoption le 15 novembre 2021 de la loi sur la Réduction de l'Empreinte Environnementale du Numérique par l'Assemblée Nationale. Cette période est aussi celle d'un foisonnement d'initiatives associatives et entrepreneuriales visant à aider citoyens et organisations à limiter le renouvellement de leurs équipements, à évaluer la consommation électrique de leur parc informatique ou à mettre en place des politiques de sensibilisation à l'égard des employées³. À l'échelle internationale, en 2019, les militantes du climat et les travailleuses de la tech établissaient des alliances pour appeler les grands groupes du numérique (Amazon, Google, Meta, Microsoft, etc.) à prendre des mesures urgentes et agressives contre le changement climatique, interpellant les dirigeants et les actionnaires, et organisant des grèves climatiques (Tveten, 2019). Cette multiplication des critiques environnementales à l'égard des grands acteurs du numérique (ex : Amazon Employees for Climate Justice, 2021) a notamment contribué aux annonces des *big tech* visant à être neutre en carbone à l'horizon 2030 (Baca & Greene, 2019; Green Software Foundation, 2023), multipliant les investissements dans les énergies renouvelables.
- 2 Nous faisons alors l'hypothèse que cette attention forte pour les conséquences environnementales du numérique renouvelait le rapport des acteur·rices à sa matérialité, conduisant à réinterroger les équipements et services utilisés

quotidiennement à l'aune de nouvelles préoccupations, en termes d'émission de carbone, de consommation d'électricité, d'eau, de minéraux, questionnant à nouveaux frais les chaînes de valeur et le devenir des déchets. Nous avons l'intuition qu'une perspective métabolique du numérique s'immisçait dans les débats d'expert·es et les médias, c'est-à-dire une perspective qui voyait le numérique à travers les flux de matières, d'énergie et d'éléments qui le traversent et le nourrissent (Desvaux et al., 2024). Une telle perspective réintroduit dans notre appréhension du numérique des enjeux géographiques et territoriaux (pollution, accès aux ressources, relations géopolitiques) et ouvre vers d'autres descriptions des pratiques matérielles et logicielles (optimisation, réparation, décarbonation) participant au fonctionnement de ces systèmes techniques.

- 3 Cette perspective métabolique ne vise pas nécessairement à écologiser le numérique. Au moment où nous écrivons cette introduction, les enjeux écologiques sont relégués au second plan, mais la matérialité du numérique et son métabolisme sont prédominants dans l'espace politique et médiatique. Avec l'essor des systèmes d'Intelligence Artificielle générative (IAgen), les centres de données, longtemps ignorés par les administrations centrales et le personnel politique à l'échelle nationale, ont été mis au centre des politiques d'investissement. Il s'ensuit une course au gigantisme des centres de calcul qui se joue à l'échelle mondiale et qui repose entre autres sur la sécurisation des ressources nécessaires au fonctionnement des infrastructures : mètres carrés, gigawatts et nombre de processeurs graphiques (Graphical Processing Units, GPUs)⁴ ne sont plus uniquement les données de l'évaluation environnementale mais entrent également dans la comptabilité de la puissance témoignant du succès des États à attirer les acteurs économiques dominant. Face à ce nouvel élan, les alertes environnementales ne sont pas en reste. Les travaux et rapports pointant les menaces que fait peser l'essor de l'IAgen sur les systèmes électriques, l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, la consommation d'eau des infrastructures du numérique se multiplient, mais sont bien loin de peser dans les arènes législatives⁵. Sous la pression des lobbys, les régulations en cours (IA Act en Europe, AI Environmental Impacts Acts aux États-Unis) n'obligent pas les entreprises à quantifier et publiciser leurs impacts, ces démarches étant principalement basées sur le volontariat (Cellard et al., 2025).
- 4 Ce numéro propose ainsi de contribuer à l'étude matérialités environnementales du numérique et des enjeux métaboliques associés. Il contribue à développer une telle perspective de trois manières. D'abord, en documentant les façons dont la matérialité du numérique fait problème, comment ce qui est compris par « numérique » pour les sciences sociales comme pour les acteurs·ices industriel·les et institutionnel·les s'accroît et se complexifie en intégrant de longs réseaux d'entités humaines et non humaines. Ensuite, ce numéro rassemble des contributions de disciplines variées, croisant les *media studies*, la géographie, la sociologie, l'enquête photographique, les sciences de l'information et de la communication et les *Science and Technology Studies* (STS). Cette multiplicité d'approches s'avère complémentaires. Enfin, nous espérons contribuer à faire dialoguer les approches françaises et internationales sur ces sujets, en présentant une partie de la littérature académique internationale dans l'espace académique francophone et réciproquement, via cette introduction et des contributions écrites en anglais ou en français.

L'environnement dans les études de la matérialité du numérique

- 5 Dans l'espace académique francophone, nombre de travaux portant sur les relations entre numérique et environnement s'intéressent d'abord aux tensions et potentielles alliances entre les « deux transitions » (Carré & Desbois, 2025; Monnoyer-Smith, 2017; Roussilhe, 2025a). D'un côté, on trouve les alertes sur la trajectoire socio-écologique insoutenable du numérique (Dubey & Gras, 2021; Flipo, 2020; Flipo et al., 2012), de l'autre les promesses sur les bénéfices environnementaux de la numérisation (Parasie & Shulz, 2024). Entre les deux, se situent des travaux explicitant l'état des lieux réglementaires (Bohas & Berthoud, 2019) ou les méthodologies de l'analyse environnementale (Berthoud & Parry, 2010; Ekchajzer et al., 2025; K. Marquet et al., 2019). Ces travaux importants s'inscrivent cependant dans un horizon normatif qui vise davantage à répondre aux questions « faut-il numériser ? » ou « comment concilier les deux transitions ? », qu'à une approche plus compréhensive dont le projet viserait à rendre compte des transformations environnementales induites par la numérisation et des effets de l'intégration des préoccupations écologiques dans le développement des équipements, logiciels et services numériques. C'est dans cette dernière approche que s'inscrit ce numéro de *RESET*.
- 6 Les pollutions provoquées par la production, l'utilisation et la mise au rebut d'équipements numériques nous invitent à étudier à nouveaux frais les matérialités du système technique. Étudier la matérialité du numérique dans une approche écologique vise à se démarquer de deux tendances : la première est purement centrée sur l'étude du contexte et de l'interaction avec un objet numérique, une tendance propre à l'histoire matérialiste des techniques ou aux *software studies* (ex : Mackenzie, 2017; Robertson, 2021); la seconde est fasciné par l'agentivité de la matière numérique — un *new materialism* qui a largement influencé les *media studies* anglo-saxonnes (Connolly, 2013; Parikka, 2012). Nous retenons plutôt quatre approches de l'étude des matérialités environnementales du numérique, issues de travaux épars réalisés dans des traditions analytiques variées, qui permettent de renouveler nos cadres d'analyse.
- 7 Un premier angle consiste à étudier comment les équipements et les infrastructures nécessaires aux échanges d'information contribuent à façonner l'espace, à organiser les usages (zones blanches ou ultra-connectées) et donc à produire l'environnement (Lefebvre, 2000). Certaines infrastructures, notamment les antennes relais, ont rapidement fait l'objet de critiques au regard des questions d'insertion paysagère (Parks, 2010), ou encore des risques qu'elles pourraient faire peser sur la santé des riverains (Borraz, 2008). Des perspectives historiques ou ethnographiques sur le développement des réseaux, du télégraphe aux câbles sous-marins, donnent également à voir les interactions ambiguës qu'ils peuvent entretenir avec les milieux traversés une fois installés (Cellard & Marquet, 2023; Schwoch, 2021; Starosielski, 2012) et la pression exercée sur les écosystèmes pour en fournir les matières premières (Tully, 2009). Ces réseaux ont contribué à la construction d'un imaginaire national (particulièrement états-unien) fondé sur les conquêtes territoriales par l'enchevêtrement de plusieurs infrastructures tel le chemin de fer et le réseau téléphonique (Carruth, 2025; Darò, 2022). Les centres de données ont également été au coeur de nombreux travaux des dernières années, analysant comment ces centres de stockage de données façonnent l'espace, reconfigurent d'anciens sites industriels (Bakis, 2013; Pickren, 2017),

provoquent des conflits d'usage énergétiques locaux (Diguët & Lopez, 2023; Lally et al., 2019; Libertson et al., 2021), et sont pris dans de complexes enchevêtrements énergétiques entre promesses de réutilisation de la chaleur, pression sur les énergies renouvelables et contribution à la mise en place d'un réseau électrique « intelligent » qui accompagnent et parfois justifient la croissance de ces infrastructures (Bresnihan & Brodie, 2020; Hampikian, 2017; Lopez, 2022; Velkova, 2021).

- 8 Une deuxième approche s'intéresse à l'amont et à l'aval des infrastructures physiques en fonctionnement, pour se pencher sur les conditions matérielles de production des objets numériques, l'utilisation de ressources et la mise au rebut des technologies de l'information. Différentes recherches ont ainsi documenté l'émergence de mouvements pour la santé au travail et la justice environnementale dénonçant les pollutions toxiques engendrées par les usines de semiconducteurs dans la Silicon Valley (Lécuyer, 2017, 2022; Pellow & Park, 2002) et à Taïwan (Chiu, 2011; Jobin, 2010; Mathews & Cho, 2000). Loin d'être un cas isolé, les pollutions chimiques liées à ces activités ont été combattues à maintes reprises dans différents contextes nationaux par des mouvements pour la justice sociale et environnementale, articulant lutte locales et internationales (Chiu, 2014; Little, 2014; Smith et al., 2006). Des problèmes similaires, mêlant contaminations toxiques et préemption des sols, touchent également les minerais stratégiques (Boudia, 2019; Sovacool, 2019) et les sites illégaux de traitement des déchets électroniques (Akese & Little, 2018; Flipo et al., 2007). Les rapports de force qui se jouent autour des conditions matérielles de production des éléments nécessaires aux technologies numériques ont également fait l'objet d'analyses critiques en termes d'extractivisme et d'écologie décoloniale (Allard et al., 2022; Katz-Lavigne, 2024; Lebrun, 2024; Lehuedé, 2024). Ces travaux ont commencé à documenter la manière dont les héritages coloniaux continuent de façonner les conditions dans lesquelles sont extraits les minerais essentiels aux technologies — cet effort doit être poursuivi. Ces recherches font aussi le récit des luttes locales, nationales et transnationales qui entendent redéfinir les modes d'existence économiques, sociaux et environnementaux de la circulation des métaux. Dans cette deuxième approche, la matérialité du numérique est explorée au prisme de la circulation, destruction et fabrication de matières, ressources et minerais — ce que Jussi Parikka a décrit comme le temps long et la lente violence de la « géologie des médias » (Parikka, 2015).
- 9 Une troisième perspective explore la « matérialité continue » du numérique, c'est-à-dire les multiples interactions entre les couches logicielles et les couches physiques qui composent les technologies informatiques (Jancovic & Keilbach, 2023; Knoespel & Zhu, 2008; Musiani, 2018). Des auteurs-ices insistent alors sur l'importance d'une compréhension des caractéristiques du système technique (puissance, mémoire, connectivité) pour saisir ses enjeux politiques et économiques (Blanchette, 2011). Ainsi ils explorent les mécanismes qui permettent aux données d'apparaître à la fois comme des choses évanescences et éphémères, mais également stables et consistantes (Kirschenbaum, 2012). À l'exception de Musiani (2025) et des contributions de la conférence Computing Within Limits⁶, ces travaux ont peu abordé les questions écologiques, mais offrent pourtant une prise pour saisir de nombreux phénomènes liés à l'optimisation des logiciels, à l'écoconception web ou encore aux ressources consommées par les intelligences artificielles. Par exemple, le travail en cours autour du calcul de l'impact carbone de l'IA (Cellard et al., 2025) implique de détailler les complexes matérialités qui pèsent sur le bilan carbone d'un algorithme : des caractéristiques du modèle d'apprentissage tel que le temps d'entraînement ou le

nombre d'hyperparamètres (couche logicielle), jusqu'au type de supercalculateurs utilisés (couche physique), en passant par le mix énergétique nécessaire pour faire fonctionner les centres de données dans lesquels les modèles sont entraînés et les données stockées. Ce travail d'endiguement de l'empreinte environnementale à l'échelle du logiciel et sa critique ont reçu jusqu'à aujourd'hui très peu d'attention de la part des sciences sociales (Ekchajzer et al., 2025; Flipo & Gossart, 2009), alors qu'il fait l'objet d'une activité permanente de la part des ingénieurs-es informaticiens-nes.

- 10 Une quatrième approche entend renouveler l'appareillage conceptuel et métaphorique pour aborder la matérialité du système technique numérique, généralement dans une perspective critique. Certains travaux mettent en relation les différents maillons de la chaîne du numérique (extraction de minerais, conception et usage d'équipements, sites de recyclage), au travers de la narration d'histoires interconnectées (Gabrys, 2013; Taffel, 2019). D'autres se concentrent davantage sur la production d'expertise, analysant parallèlement l'inertie politique en matière de prise en compte des alertes environnementales et le soutien économique des industries numériques (Flipo, 2020; Flipo et al., 2013). D'autres auteur·ices entendent relire les activités numériques en prêtant attention à leur dimension industrielle, mettant l'accent sur l'accaparement des ressources, l'intégration verticale de la chaîne de valeur, la standardisation du travail (Ensmenger, 2021; Hogan, 2021). En continuité avec cette approche, d'autres proposent de penser les critiques du numérique à l'aide de la théorie des échanges inégaux, donnant ainsi à voir les rapports de force sociaux et territoriaux qui s'exercent via la circulation des flux de matière et de données (Broca, 2022; Crawford, 2021; Valdivia, 2024). Cette importance de la territorialité est également mise en avant par des approches critiques de la conception numérique, soulignant les risques d'une approche centrées sur la performance des objets qui s'avère oublieuse de la spécificité des contextes dans lesquels ils s'inscrivent et des relations qu'ils contribuent à produire (Nova & Roussilhe, 2020). Enfin, le problème de la temporalité des objets numériques et du sens de leur production dans le contexte de l'anthropocène a été discuté via la notion de « technologies zombies », autrement dit, elles sont vouées à bientôt disparaître du fait de leurs insoutenabilité ou à rester à jamais mort-vivantes du fait de l'impossibilité à les recycler (Allard et al., 2022; Monnin et al., 2021).

Une perspective métabolique

- 11 De façon transverse, les approches soucieuses à la fois de la matérialité du numérique et des conséquences environnementales des technologies traitent, sous des angles variés, deux enjeux : celui de la toxicité des produits entrant dans la conception des objets numériques et puis à l'état de déchets ; celui des flux de matière et d'énergie mis en mouvement pour permettre au système numérique de fonctionner. Pour englober ces sujets, nous proposons de développer une perspective métabolique du numérique (Gould, 2017, 2021). Le concept de « métabolisme » a été largement utilisé dans des champs de recherche issus des études environnementales (Haberl et al., 2019), de la géographie (Bahers et al., 2022; Barles, 2010; Desvaux et al., 2024) et des études urbaines (Desvaux, 2019; Heynen et al., 2006; Tzaninis et al., 2020), en utilisant à la fois des méthodes quantitatives pour modéliser les flux de matière, d'énergie et les interdépendances territoriales, et des méthodes qualitatives pour analyser les relations de pouvoir qui façonnent la distribution inégale des ressources (eau, nourriture,

matériaux de construction) et des déchets sur un territoire donné. Ce travail présente à deux égards une valeur heuristique pour les études sur le numérique.

- 12 Tout d'abord, si l'étude du métabolisme engage les chercheurs-ses dans la mesure et la modélisation des flux, elle attire également l'attention sur les connaissances qui permettent aux acteurs d'appréhender l'empreinte environnementale du numérique. Il s'agit de rendre compte des méthodologies développées et des controverses qui opposent les acteurs dans la mesure de cette empreinte, comme la confrontation entre le think tank environnemental The Shift Project et l'Agence internationale de l'énergie sur l'estimation des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation énergétique globale du streaming numérique. Ces débats ont rendu visible une méthodologie, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) multicritère, qui s'est construite à l'interface entre les milieux académiques et les entreprises (Freidberg, 2015), pour évaluer les conséquences environnementales d'un produit ou d'un service numérique tout au long de son cycle de vie (extraction, production, utilisation et élimination). L'empreinte environnementale du numérique se construit donc dans un paysage controversé (Béchadergue, 2021; Cellard et al., 2025; Pasek et al., 2023), et nécessite d'interroger le rôle des consultants, de l'industrie et de la communauté scientifique (Freitag et al., 2021).
- 13 Toutefois, le fait de se concentrer uniquement sur la quantification peut être trompeur. Les chiffres obscurcissent également les réalités (Espeland & Sauder, 2007), euphémisent les conflits (Johns & DellaSala, 2017), ils peuvent conduire à des débats interminables sans possibilité de trouver un consensus (Blakey, 2021), et nécessite toujours des efforts humains et financiers considérables (Hesse et al., 2023; Shapiro et al., 2020). Les chercheurs-ses en STS ont appelé à aller au-delà de l'étude des controverses techniques sur les impacts environnementaux globaux du numérique, pour proposer une approche relationnelle des impacts environnementaux, « une orientation empirique et stratégique visant à délimiter des relations particulières entre des éléments - géographiques, spatiaux, techniques et sociaux - au sein d'un vaste réseau d'infrastructures » (Pasek et al., 2023, p. 9, notre traduction). En effet, ces impacts ne sont pas uniformément répartis dans l'espace (Dodge et al., 2022), et leur compréhension nécessite la prise en compte des spécificités géographiques, énergétiques et parfois géologiques des lieux dans lesquels les infrastructures se développent (Cellard et al., 2025). Comprendre la diversité des agencements au sein desquels s'inscrivent les infrastructures numériques apparaît ainsi nécessaire à leur critique. C'est pourquoi certaines contributions à ce dossier décrivent les métabolismes du numérique via une approche territoriale, matérielle et relationnelle, qui constitue la seconde dimension métabolique du numérique.
- 14 Les contributions à ce numéro viennent nourrir cette réflexion métabolique au travers de trois dimensions : l'analyse des rencontres techno-écologiques, prêtant attention aux formes de destruction mais également aux questions de cohabitation et de transformation ; la mise en visibilité et la mise en ordre, dans lesquelles les pratiques de quantification jouent un rôle majeur ; et les tensions qui traversent l'écologisation des pratiques matérielles.

Rencontres techno-écologiques : cohabitations, transformations et destructions

- 15 Ce numéro met d'abord en avant les contributions qui prêtent attention à la diversité et à la complexité des enchevêtrements techno-écologiques du numérique. Ce type d'assemblage est dit « féral » car difficile à cerner, stabiliser ou anticiper (Tsing et al., 2020), il complique la dichotomie entre des technologies comprises comme « artificielles » et un environnement dit « naturel » (Bratton, 2025; Nova & Disnovation.org, 2021). Ici, les problèmes environnementaux sont envisagés comme des « rencontres problématiques » entre des formes disparates de matériaux (Barry, 2021; Savransky & Stengers, 2016) avec d'un côté les différentes couches matérielles des objets numériques (logiciels, physiques, infrastructurelles, énergétiques) et de l'autre des espaces dits « naturels » (une rivière où gisent des déchets électroniques) ou encore des animaux (Coghlan & Parker, 2023). Ces enchevêtrements ont diverses gradations : de la friction micro-locale jusqu'à l'amalgame entre entités, ce que l'écologie des médias appelle une « *medianature* » (Parikka, 2012) entendue comme un lent devenir-fusion entre un objet numérique et son milieu.
- 16 Si les ravages environnementaux sont nombreux et souvent identifiés, les relations que les infrastructures et équipements nouent avec les milieux sont plus variées et complexes qu'il ne peut le paraître à première vue. D'une part, la présence d'infrastructures produit de nouvelles écologies : les poteaux de télécommunication ont favorisé la prolifération des pics-verts (Schwoch, 2021), tout en plaçant le réseau sous la menace des écureuils et autres rongeurs ; la maintenance des réseaux de fibre optique suscite également des interrogations sur les responsabilités en matière d'élagage des arbres ou de gestion de la faune et de la flore sous-marine (C. Marquet, 2024; Starosielski, 2015). Dans bien des cas, ce sont donc des relations ambivalentes qui se tissent entre l'infrastructure déployée et les milieux qu'elle traverse. D'autre part, les conséquences des perturbations environnementales et climatiques peuvent également affecter le bon fonctionnement du système technique : en témoignent la pénurie de semi-conducteurs provoquée par une grande sécheresse à Taïwan en 2021 (Roussilhe, 2021), les surchauffes de centres de données états-uniens pendant l'été 2022 ou encore les alertes à propos des risques de submersion des points d'arrivée des câbles sous-marins en cas de montée du niveau des mers et océans (Durairajan et al., 2018). À la croisée de la sociologie des problèmes publics (Cefaï & Terzi, 2012) et des *infrastructure studies* (Barry, 2020), nous publions plusieurs articles qui analysent comment les frictions entre les matérialités du numérique et les écosystèmes biologiques et énergétiques sont prises en compte, conceptualisées, discutées et rendues publiques par les acteurs.
- 17 Hugo Estecahandy montre ainsi comment la chaleur produite par une usine de minage de Bitcoin sert à chauffer une serre dédiée à la production de tomates, et ce, dans le territoire hostile de Sibérie. Cyrus Khalatbari analyse quant à lui les frictions matérielles des puces de calcul GPU (Graphical Processing Unit) à deux moments cruciaux de leurs vies : lorsque leurs performances sont poussées à bout et refroidies à l'aide de nitrogène liquide, et lors de leurs recyclages, occasionnant de multiples transformation et enchevêtrements de matières (désossage de châssis en métal qui sont ensuite brûlés pour fabriquer des câbles, fonte de divers métaux pour fabriquer des pots, récupération d'or pour être réutilisé en Chine...). Dans la section portfolio,

Aurélien Béranger et Gauthier Roussilhe nous emmènent dans les forêts d'Ardèche, à la rencontre d'une antenne relais 4G qui fonctionne grâce à un générateur nourri au Gazole Non Routier, du fuel occasionnellement siphonné pour alimenter les engins forestiers ou les tracteurs d'agriculteur·rices locaux.

- 18 Ces articles illustrent des rencontres, juxtapositions incongrues ou transformations partielles entre des infrastructures numériques et des entités considérées comme naturelles ou non-artificielles.

Mise en visibilité et mise en ordre : quantifications et administrations

- 19 Le numéro offre également des propositions qui s'intéressent aux processus de mise en visibilité et de mise en ordre de la matérialité du numérique. De la contestation de projets infrastructurels à la quantification des impacts en passant par l'élaboration de textes de lois et de feuilles de route, la prise en compte de la matérialité du numérique et de ses conséquences environnementales nécessite de nombreuses enquêtes : la nature des objets (Carnino & Marquet, 2022; C. Marquet, 2018) comme celle des chiffres ne peuvent être tenues pour acquises (Flipo, 2020; Libertson et al., 2021; Roussilhe, 2020; The Shift Project, 2020). Par exemple, le flou entourant la notion d'intelligence artificielle (où commence et finit son infrastructure ?) ne facilite pas le calcul de son impact carbone (Cellard et al., 2025), ni la prise en compte de sa demande exponentielle dans l'application des réglementations environnementales⁷.
- 20 En croisant sociologie de la quantification (Bruno et al., 2014) et sociologie des mobilisations et de l'action publique (Gilbert & Henry, 2012), Hugo Jeanningros analyse dans le numéro la production des chiffres de The Shift Project à propos du calcul de l'impact carbone du Métavers. Quantifier l'empreinte d'une promesse technologique revient à ajouter aux contraintes et incertitudes inhérentes à ce type de quantifications une entité au périmètre peu clair et à l'avenir contesté. Le travail de modélisation et de quantification fait face à des contraintes de moyens qui orientent la production des modèles et des chiffres. La justesse de certaines mesures techniques y côtoie des scénarios radicalement incertains qui ont un réel effet sur les résultats produits par les formes de modélisation. Loin de baisser les bras face à tant de complexité, le groupe de travail sur le Métavers s'appuie sur un usage tactique des promesses et données produites par des acteurs économiques et industriels actifs dans ce secteur. Les chiffres, juste assez robustes pour être publiés, remplissent une multitude de fonctions : faire exister un problème, légitimer une expertise ou encore pousser d'autres acteurs à répondre aux manquements et incertitudes avec de nouvelles données.
- 21 Au-delà des études sur la quantification, d'autres techniques de gouvernement et configurations politiques contribuent à stabiliser l'installation d'infrastructure du numérique. Hugo Estecahandy montre par exemple comment une multitude de facteurs institutionnels favorise l'installation du bitcoin en ex-URSS : une énergie peu chère souvent issue d'un tissu infrastructurel hérité de l'ère soviétique ou qui offre parfois l'occasion de sortir de l'approvisionnement d'un réseau national d'électricité ; une régulation qui n'oblige pas toujours à déclarer le minage ; et des conflits d'intérêts entre hommes politiques et responsables des compagnies de gestion énergétique locales qui conduit à l'exploitation du réseau d'électricité au profit de l'industrie du bitcoin.

Écologisations des pratiques : de l'optimisation industrielle à la sobriété numérique

- 22 Nous accueillons également dans le numéro des contributions qui s'intéressent à l'écologisation des pratiques liées au numérique. Il s'agit d'étudier comment différentes acteur·ices intègrent les préoccupations environnementales dans la conception et l'usage des technologies, et ce dans un continuum allant des pratiques d'optimisation énergétique, de compensation carbone généralement promues par les acteurs industriels jusqu'aux initiatives visant à réinventer l'Internet selon des modalités plus soutenables (Laser et al., 2022), en passant par les pratiques de réemploi et de réparation (Bloch & Nova, 2020; Callén & Criado, 2016) ou les efforts pour produire des technologies « *low tech* ». L'écologisation du numérique passe autant par la gestion de la climatisation d'un *centre de données* que par le développement de sites web sobres et ce dans des environnements industriels, académiques ou associatifs qui configurent des relations tant individuelles que collectives au système technique. Que ces engagements soient analysés comme porteurs d'une décroissance numérique radicale, d'une optimisation industrielle, voire d'une forme de *greenwashing*, nous cherchons à comprendre comment la problématisation des questions matérielles et énergétiques transforme concrètement la manière dont les acteurs·ices se rapportent aux technologies. Comment les acteurs mettent en balance et arbitrent leurs choix de conception (au sujet de la forme, de l'utilisabilité ou de la sécurité d'un objet ou service numérique) avec un souci pour l'impact environnemental du numérique dans une société qui se pense comme « soutenable », « durable », « sobre » ou « en transition » ? Dans son article, Hugo Jeanningros analyse comment le Shift Project a pour objectif d'imposer l'impact environnemental du numérique comme sujet connexe de l'encadrement des mondes virtuels, notamment à l'échelle de l'Union européenne, alors que les deux sujets du numérique et de l'environnement sont à ce stade traités séparément. La production de chiffres par le Shift s'inscrit dans une volonté de participer à la transformation de l'empreinte environnementale du numérique en problème public malgré le manque de méthode ou l'incertitude sur la rentabilité économique du Métavers.
- 23 Dans son article sur la matérialité des GPU, Cyrus Khalatbari établit le lien entre la recherche constante de l'industrie pour dépasser les limites de performance des puces et ses implications sur le recyclage : à force de vouloir miniaturiser les composants électroniques, ils deviennent de plus en plus difficile à extraire, fondre, transformer et recycler. L'histoire de l'optimisation va de pair avec une réduction de l'espace pris par les puces et dans le même temps l'accroissement de la demande énergétique de ces composants (Roussilhe, 2025b). La course que se livrent les puissances pour construire une IA générative généraliste, disponible partout et de plus en plus performante produit une situation absurde où il faut maintenant trouver des usages gourmands pour justifier et rentabiliser les investissements colossaux dans la construction de puces tout en continuant à optimiser ces systèmes qui deviendront rapidement obsolètes et comme le montre Khalatbari, de plus en plus difficile à recycler du fait de leur miniaturisation.

Portfolio

- 24 Enfin, ce numéro est l'occasion d'ouvrir une rubrique portfolio, non évaluée par les paires. Dans cette rubrique, Aurélien Béranger et Gauthier Roussilhe proposent une balade infrastructurelle prenant la forme d'un reportage photographique commenté. Cette déambulation, inspirée des travaux de Shannon Mattern (2013) et d'Ingrid Burrington (2016), remet sur le devant de la scène les infrastructures de la téléphonie mobiles, les antennes relais, et nous rend sensibles à la singularité des sites dans lesquelles elles s'implantent, des bricolages par lesquels le réseau est développé dans des territoires montagneux et peu denses, et de sa fragilité. Si donner à voir la matérialité des équipements s'est avérée être une des contributions de ce numéro (voir les contributions d'Hugo Estecahandy et de Cyrus Khalatbari), la balade infrastructurelle témoigne de la fertilité du déplacement et de l'exploration sur site pour renouveler les perspectives de recherche sur des objets, les antennes relais, qui ne nous étaient devenus que trop familiers.

BIBLIOGRAPHIE

- AKESE, G. A., & LITTLE, P. C. (2018). Electronic Waste and the Environmental Justice Challenge in Agbogbloshie. *Environmental Justice*, 11(2), 77-83. <https://doi.org/10.1089/env.2017.0039>
- ALLARD, L., MONNIN, A., & NOVA, N. (2022). *Ecologies du smartphone* (Editions Le bord de l'eau).
- Amazon Employees for Climate Justice. (2021, janvier 20). Public letter to Jeff Bezos and the Amazon Board of Directors. *Medium*. <https://amazonemployees4climatejustice.medium.com/public-letter-to-jeff-bezos-and-the-amazon-board-of-directors-82a8405f5e38>
- BACA, M. C., & GREENE, J. (2019, septembre 20). Amazon, Google, other tech employees protest in support of climate action. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/09/20/amazon-google-other-tech-employees-protest-support-climate-action/>
- BAHERS, J.-B., ATHANASSIADIS, A., PERROTTI, D., & KAMPELMANN, S. (2022). The place of space in urban metabolism research : Towards a spatial turn? A review and future agenda. *Landscape and Urban Planning*, 221, 104376. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104376>
- Bakis, H. (2013). Les facteurs de localisation d'un nouveau type d'établissements tertiaires : Les datacentres. *Netcom*, 27-3/4, 351-384. <https://doi.org/10.4000/netcom.1473>
- BARLES, S. (2010). Ecologie urbaine, territoriale et industrielle. In O. Coutard & J.-P. Lévy (Éds.), *Ecologies urbaines* (p. 61-83). Economica : Anthropos.
- BARRY, A. (2020). The Material Politics of Infrastructure. In S. Maasen, S. Dickel, & C. Schneider (Éds.), *TechnoScienceSociety : Technological Reconfigurations of Science and Society* (p. 91-109). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43965-1_6
- BARRY, A. (2021). What Is an Environmental Problem? *Theory, Culture & Society*, 0263276420958043. <https://doi.org/10.1177/0263276420958043>

- BÉCHADERGUE, B. (2021). *A la recherche de l'empreinte perdue. Enquête sur le processus sociotechnique européen de constitution de savoirs relatifs aux impacts environnementaux du numérique*. [Mémoire de Master 2]. EHESS.
- BERTHOUD, F., & PARRY, M. (2010). Évaluation des impacts environnementaux de l'informatique. Quels outils ? Quelles limites ? *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 106-107, Article 106-107. <https://doi.org/10.4000/terminal.1794>
- BLAKEY, J. (2021). Accounting for elephants : The (post)politics of carbon omissions. *Geoforum*, 121, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.02.006>
- BLANCHETTE, J.-F. (2011). A material history of bits. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(6), 1042-1057. <https://doi.org/10.1002/asi.21542>
- BLOCH, A., & NOVA, N. (2020). *Dr. Smartphone : An ethnography of mobile phone repair shops* (IDP).
- BOHAS, A., & BERTHOUD, F. (2019). Norme numérique et green IT. *Annales des Mines*, 9.
- BORDAGE, F., DE MONTENAY, L., & VERGEYNST, O. (2020). *Impacts environnementaux du numérique en France*. GreenIT.fr.
- BORRAZ, O. (2008). *Les politiques du risque*. Presses de Sciences po.
- BOUDIA, S. (2019). Quand une crise en cache une autre : La « crise des terres rares » entre géopolitique, finance et dégâts environnementaux. *Critique internationale*, N° 85(4), 85-103.
- BRATTON, B. (2025). A Speculative Philosophy of Planetary Computation. *Antikythera Digital Journal*. <https://doi.org/10.1162/ANTL5CZE>
- BRESNIHAN, P., & BRODIE, P. (2020). New extractive frontiers in Ireland and the moebius strip of wind/data. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 251484862097012. <https://doi.org/10.1177/2514848620970121>
- BROCA, S. (2022). Le capitalisme numérique comme système-monde. Éléments pour une métacritique. *Réseaux*, 231(1), 167-194. <https://doi.org/10.3917/res.231.0167>
- BRUNO, I., DIDIER, E., & PRÉVIEUX, J. (2014). *Statactivisme : Comment lutter avec des nombres*. Zones.
- BURRINGTON, I. (2016). *Networks of New York : An Illustrated Field Guide to Urban Internet Infrastructure*. Melville House.
- CALLÉN, B., & CRIADO, T. S. (2016). Vulnerability Tests. Matters of “Care for Matter” in E-waste Practices. *TECNOSCIENZA: Italian Journal of Science & Technology Studies*, 6(2), Article 2.
- CARNINO, G., & MARQUET, C. (2022). Cooling, quick fix et spaghetti cloud dans l'univers du datacenter : Changement d'échelle et industrialisation du numérique. *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, 17, Article 17.
- CARRÉ, D., & DESBOIS, D. (2025). Transition numérique et transition écologique. Similitudes, différences, oppositions? *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 140, Article 140. <https://doi.org/10.4000/13vhr>
- CARRUTH, A. (2025). *Novel Ecologies : Nature Remade and the Illusions of Tech*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/N/bo239362741.html>
- CEFAÏ, D., & TERZI, C. (Éds.). (2012). *L'expérience des problèmes publics*. Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales.
- CELLARD, L., & MARQUET, C. (2023). Frictions sous-marines. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 17(4), Article 4. <https://doi.org/10.4000/rac.31070>

- CELLARD, L., PARKER, C., & HAINES, F. (2025). Beyond AI as an environmental pharmakon : Principles for reopening the problem-space of machine learning's carbon footprint. *Environment and Planning E*, 25148486251332087. <https://doi.org/10.1177/25148486251332087>
- CHIU, H.-M. (2011). The Dark Side of Silicon Island : High-Tech Pollution and the Environmental Movement in Taiwan. *Capitalism Nature Socialism*, 22(1), 40-57. <https://doi.org/10.1080/10455752.2010.546647>
- CHIU, H.-M. (2014). Le mouvement contre l'expansion des parcs scientifiques et les dangers de l'industrie électronique à Taiwan. Synthèse à partir d'une perspective de justice environnementale. *Perspectives chinoises (Hong Kong)*.
- COGHLAN, S., & PARKER, C. (2023). Harm to Nonhuman Animals from AI : A Systematic Account and Framework. *Philosophy & Technology*, 36(2), 25. <https://doi.org/10.1007/s13347-023-00627-6>
- CONNOLLY, W. E. (2013). The 'New Materialism' and the Fragility of Things. *Millennium*, 41(3), 399-412. <https://doi.org/10.1177/0305829813486849>
- CRAWFORD, K. (2021). *Atlas of AI : Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.
- DARÒ, C. (2022). *Paysage de lignes : Esthétique et télécommunications*. MétisPresses.
- DESSAUX, P. (2019). Pour une approche qualitative du métabolisme urbain. L'exemple des voies métaboliques des déchets plastiques au Caire (Égypte). *Flux*, N° 116-117(2), 147-160.
- DESSAUX, P., DILLENSEGER, C., & MONGEARD, L. (2024). *Métabolisme(s) : Matière en circulation, matière en transformation*. Éditions Deux-cent-cinq.
- DIGUET, C., & LOPEZ, F. (2023). *Sous le feu numérique : Spatialités et énergies des data centers*. MétisPresses.
- DODGE, J., PREWITT, T., COMBES, R. T. D., ODMARK, E., SCHWARTZ, R., STRUBELL, E., LUCCIONI, A. S., SMITH, N. A., DECARIO, N., & BUCHANAN, W. (2022). *Measuring the Carbon Intensity of AI in Cloud Instances* (No. arXiv:2206.05229). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.05229>
- DUBEY, G., & GRAS, A. (2021). *La servitude électrique : Du rêve de liberté à la prison numérique*. Éditions du Seuil.
- DURAIRAJAN, R., BARFORD, C., & BARFORD, P. (2018). Lights Out : Climate Change Risk to Internet Infrastructure. *Proceedings of the Applied Networking Research Workshop*, 9-15. <https://doi.org/10.1145/3232755.3232775>
- EKCHAJZER, D., GOSSART, C., MONTCEL, B. T. D., & COMBAZ, J. (2025). Prendre en compte les effets environnementaux systémiques du numérique dans les organisations : Un double enjeu logique et organisationnel. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 140, Article 140. <https://doi.org/10.4000/13vbx>
- ENSMENGER, N. (2021). The Cloud is a Factory. In T. S. MULLANEY, B. PETERS, M. HICKS, & K. PHILIP (Éds.), *Your computer is on fire* (p. 29-50). The MIT Press.
- ESPELAND, W. N., & SAUDER, M. (2007). Rankings and Reactivity : How Public Measures Recreate Social Worlds. *American Journal of Sociology*, 113(1), 1-40. <https://doi.org/10.1086/517897>
- FLIPO, F. (2020). *L'impératif de la sobriété numérique : L'enjeu des modes de vie* (Editions Matériologiques).

FLIPO, F., BOUTET, A., DRAETTA, L., & DELTOUR, F. (2007). *Ecologie des infrastructures numériques*. Hermès Science publications.

FLIPO, F., Deltour, F., DOBRÉ, M., & MICHOT, M. (2012). *Peut-on croire aux TIC vertes? Technologies numériques et crise environnementale*. École des mines de Nantes.

FLIPO, F., DOBRÉ, M., & MICHOT, M. (2013). *La face cachée du numérique : L'impact environnemental des nouvelles technologies*. Éditions L'Échappée.

FLIPO, F., & GOSSART, C. (2009). Infrastructure numérique et environnement : L'impossible domestication de l'effet rebond. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 103-104, 163. <https://doi.org/10.4000/terminal.3093>

FREIDBERG, S. (2015). It's Complicated : Corporate Sustainability and the Uneasiness of Life Cycle Assessment. *Science as Culture*, 24(2), 157-182. <https://doi.org/10.1080/09505431.2014.942622>

FREITAG, C., BERNERS-LEE, M., WIDDICKS, K., KNOWLES, B., BLAIR, G. S., & FRIDAY, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT : A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

GABRYS, J. (2013). *Digital rubbish : A natural history of electronics* (1. paperback ed). Univ. of Michigan Press.

GILBERT, C., & HENRY, E. (2012). La définition des problèmes publics : Entre publicité et discrétion. *Revue française de sociologie*, Vol. 53(1), 35-59.

Gould, A. S. (2017). *Digital Environmental Metabolisms : An Ecocritical Project of the Digital Environmental Humanities*. <https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/handle/10161/14457>

GOULD, A. S. (2021). Kitting the Digital Humanities for the Anthropocene : Digital Metabolism and Ecocritical DH. In C. MIYA, G. ROCKWELL, & O. ROSSIER (Éds.), *Right Research : Modelling Sustainable Research Practices in the Anthropocene* (p. 93-110). Open Book Publishers. <http://books.openedition.org/obp/20528>

Green Software Foundation. (2023). *2023 State of the Green Software*. Green Software Foundation.

HABERL, H., WIEDENHOFER, D., PAULIUK, S., KRAUSMANN, F., MÜLLER, D. B., & FISCHER-KOWALSKI, M. (2019). Contributions of sociometabolic research to sustainability science. *Nature Sustainability*, 2(3), 173-184. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0225-2>

HAMPIKIAN, Z. (2017). *De la distribution aux synergies ? : Circulations locales d'énergie et transformations des processus de mise en réseau de la ville* [Phdthesis, Université Paris-Est]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01586025>

HESSE, A., BRESNIHAN, P., & WHITE, J. (2023). The data treadmill : Water governance and the politics of pollution in rural Ireland. *Local Environment*, 28(5), 602-618. <https://doi.org/10.1080/13549839.2023.2169668>

HEYNEN, N., KAIKA, M., & SWYNGEDOUW, E. (2006). *In the Nature of Cities : Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism*. Taylor and Francis. <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=256935>

HOGAN, M. (2021). The Data Center Industrial Complex. In M. Jue & R. Ruiz (Éds.), *Saturation : An elemental politics* (p. 283-305). Duke University Press.

JANCOVIC, M., & KEILBACH, J. (2023). Streaming against the Environment : Digital Infrastructures, Video Compression, and the Environmental Footprint of Video Streaming. In K. VAN ES & V. NANNA

- (Éds.), *Situating Data* (p. 85-102). AUP. <https://www.aup.nl/en/book/9789463722971/situating-data>
- JOBIN, P. (2010). Risques et protestations dans la « Green Silicon Island ». Les luttes pour la visibilité des maladies industrielles à Taiwan. *Perspectives chinoises*, 112(3), 50-68. <https://doi.org/10.3406/perch.2010.4007>
- JOHNS, D., & DELLASALA, D. (2017). Caring, Killing, Euphemism and George Orwell : How Language Choice Undercuts Our Mission. *Biological Conservation*, 211(Part A), 174-176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.03.030>
- KATZ-LAVIGNE, S. (2024). Framing spaces as (il)legitimate : “Dirty” cobalt and the (mis)uses of artisanal and small-scale mining sites in south-eastern Democratic Republic of Congo. *Canadian Journal of African Studies / Revue canadienne des études africaines*, 58(1), 109-131. <https://doi.org/10.1080/00083968.2023.2273500>
- KIRSCHENBAUM, M. G. (2012). *Mechanisms : New media and the forensic imagination* (1. paperback ed). MIT Press.
- KNOESPEL, K. J., & ZHU, Z. (2008). Continuous Materiality : Through a Hierarchy of Computational Codes. *Fibre Culture Journal*, 11. <http://eleven.fibreculturejournal.org/fcj-076-continuous-materiality-through-a-hierarchy-of-computational-codes/>
- LALLY, N., KAY, K., & THATCHER, J. (2019). Computational parasites and hydropower : A political ecology of Bitcoin mining on the Columbia River. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 251484861986760. <https://doi.org/10.1177/2514848619867608>
- LASER, S., PASEK, A., SØRENSEN, E., HOGAN, M., MACE, O., FEHRENBACHER, J., HEPACH, M. G., ÇELIK, L., & RAVI KUMAR, K. (2022). The environmental footprint of social media hosting : Tinkering with Mastodon. *EASST Review*, 41(3). <https://www.easst.net/article/the-environmental-footprint-of-social-media-hosting-tinkering-with-mastodon/>
- LEBRUN, F. (2024). *Barbarie numérique : Une autre histoire du monde connecté. l'Échappée*.
- LÉCUYER, C. (2017). From Clean Rooms to Dirty Water : Labor, Semiconductor Firms, and the Struggle over Pollution and Workplace Hazards in Silicon Valley. *Information & Culture: A Journal of History*, 52(3), 304-333. <https://doi.org/10.1353/lac.2017.0012>
- LÉCUYER, C. (2022). Mouvement syndical et critique écologique des industries numériques dans la Silicon Valley: *Réseaux*, N° 231(1), 41-70. <https://doi.org/10.3917/res.231.0041>
- LEES PERASSO, E. (Bureau V., VATEAU, C. (APL D., DOMON, F. (Bureau V., avec les contributions de, AIOUCH, Y. (Deloitte), CHANOINE, A. (Deloitte), CORBET, L. (Deloitte), DRAPEAU, P. (Deloitte), VIGNERON, V. (Deloitte), PRUNEL, D. (Bureau V., OUFFOUÉ, G. (APL D., MAHASENGA, R. (APL D., ORGELET, J. (DDemain), BORDAGE, F. (GreenIT. fr), & ESQUERRE, P. (IDATE). (2022). *Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France* (Nos. 2258-3106; p. 262). Ademe/Arcep.
- LEFEBVRE, H. (2000). *La production de l'espace* (4. éd). Éd. Anthropos.
- LEHUEDÉ, S. (2024). An alternative planetary future? Digital sovereignty frameworks and the decolonial option. *Big Data & Society*, 11(1), 20539517231221778. <https://doi.org/10.1177/20539517231221778>
- LIBERTSON, F., VELKOVA, J., & PALM, J. (2021). Data-center infrastructure and energy gentrification : Perspectives from Sweden. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 17(1), 153-162. <https://doi.org/10.1080/15487733.2021.1901428>
- LITTLE, P. C. (2014). *Toxic town : IBM, pollution, and industrial risks*. New York University Press.

- LOPEZ, F. (2022). *A bout de flux*. Divergences.
- MACKENZIE, A. (2017). *Machine learners : Archaeology of a data practice*. The MIT Press.
- MARQUET, C. (2018). Ce nuage que je ne saurais voir. Promouvoir, contester et réguler les data centers à Plaine Commune. *Tracés*, 35, 75-98. <https://doi.org/10.4000/traces.8235>
- MARQUET, C. (2024). Démanteler des réseaux en ruine : Câbles sous-marins et biodiversité en mer Méditerranée. *Les Temps qui restent*, 3(3), 89-127. <https://doi.org/10.3917/tqr.003.0089>
- MARQUET, K., COMBAZ, J., & BERTHOUD, F. (2019). Introduction aux impacts environnementaux du numérique. *1024 : Bulletin de la Société Informatique de France*, 13, 85-97.
- MATHEWS, J. A., & CHO, D.-S. (2000). *Tiger Technology : The Creation of a Semiconductor Industry in East Asia*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511552229>
- MATTERN, S. (2013). Infrastructural Tourism. *Places Journal*. <https://doi.org/10.22269/130701>
- MONNIN, A., BONNET, E., & LANDIVAR, D. (2021). *Héritage et fermeture : Une écologie du démantèlement*. Editions Divergences.
- MONNOYER-SMITH, L. (2017). Transition numérique et transition écologique. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 87(3), 5. <https://doi.org/10.3917/re1.087.0005>
- MUSIANI, F. (2018). L'invisible qui façonne. Études d'infrastructure et gouvernance d'Internet. *Tracés. Revue de Sciences humaines*, 35, Article 35. <https://doi.org/10.4000/traces.8419>
- MUSIANI, F. (2025). Les « nains » de l'Internet sont-ils écologiques? Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 140, Article 140. <https://doi.org/10.4000/13vhy>
- NOVA, N. & Disnovation.org (Éds.). (2021). *A bestiary of the anthropocene : Hybrid plants, animals, minerals, fungi*. Onomatopée.
- NOVA, N., & ROUSSILHE, G. (2020). Du low-tech numérique aux numériques situés. *Sciences du Design*, n°11(1), 91. <https://doi.org/10.3917/sdd.011.0091>
- PARASIE, S., & SHULZ, S. (2024). Le numérique au service de la transition écologique ? Un panorama des recherches en sciences sociales. *Réseaux*, 244(2), 11-45. <https://doi.org/10.3917/res.244.0011>
- PARIKKA, J. (2012). New Materialism as Media Theory : Medianatures and Dirty Matter. *Communication and Critical/Cultural Studies*, 9(1), 95-100. <https://doi.org/10.1080/14791420.2011.626252>
- PARIKKA, J. (2015). *A geology of media*. University of Minnesota Press.
- PARKS, L. (2010). Around the Antenna Tree : The Politics of Infrastructural Visibility. *Flow*. <https://www.flowjournal.org/2010/03/flow-favorites-around-the-antenna-tree-the-politics-of-infrastructural-visibilitylisa-parks-uc-santa-barbara/>
- PASEK, A., VAUGHAN, H., & STAROSIELSKI, N. (2023). The world wide web of carbon : Toward a relational footprinting of information and communications technology's climate impacts. *Big Data & Society*, 10(1), 20539517231158994. <https://doi.org/10.1177/20539517231158994>
- PELLOW, D. N., & PARK, L. S.-H. (2002). *The Silicon Valley of dreams : Environmental injustice, immigrant workers, and the high-tech global economy*. New York University Press.
- PICKREN, G. (2017). The Factories of the Past Are Turning Into the Data Centres of the Future. *Imaginations: Journal of Cross-Cultural Image Studies*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.17742/IMAGE.LD.8.2.3>

- ROBERTSON, C. (2021). *The filing cabinet : A vertical history of information*. University of Minnesota Press.
- ROUSSILHE, G. (2020, juillet 1). La controverse de la 5G. Comprendre, réfléchir et décider ensemble au déploiement de la nouvelle génération mobile. *Gauthier Roussilhe*. <https://gauthierroussilhe.com/ressources/la-controverse-de-la-5g>
- ROUSSILHE, G. (2021). *Eau et puces électroniques : L'avenir climatique de Taïwan* | Gauthier Roussilhe. <https://gauthierroussilhe.com/articles/eau-et-puces-electroniques-l-avenir-climatique-et-industriel-de-taiwan>
- ROUSSILHE, G. (2025a). A Tale of Twin Transitions : How Did We Come to Think That Digitization and Sustainability Go Hand in Hand. In *The Palgrave Handbook of Cybersecurity, Technologies and Energy Transitions* (p. 1-14). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04196-9_48-1
- ROUSSILHE, G. (2025b). *La phase G : les GPU et les IA génératives comme nouvelle phase de l'histoire environnementale de la numérisation ? (Partie 1)*.
- SAVRANSKY, M., & STENGERS, I. (2016). *The Adventure of relevance : An ethics of social inquiry*. Palgrave Macmillan UK.
- SCHWOCH, J. (2021). War on woodpeckers : 5G, utility poles and the 1918 Migratory Bird Treaty Act. *Journal of Environmental Media*, 2(2), 229-246. https://doi.org/10.1386/jem_00064_1
- SHAPIRO, N., ZAKARIYA, N., & ROBERTS, J. A. (2020). Beyond the data treadmill : Environmental enumeration, justice, and apprehension. In *Toxic truths* (p. 301-325). Manchester University Press. <https://www.manchesterhive.com/display/9781526137005/9781526137005.00030.xml>
- SMITH, T., SONNENFELD, D. A., & PELLOW, D. N. (Éds.). (2006). *Challenging the chip : Labor rights and environmental justice in the global electronics industry*. Temple University Press.
- SOVACOO, B. K. (2019). The precarious political economy of cobalt : Balancing prosperity, poverty, and brutality in artisanal and industrial mining in the Democratic Republic of the Congo. *The Extractive Industries and Society*, 6(3), 915-939. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.05.018>
- STAROSIELSKI, N. (2012). Warning : Do Not Dig' : Negotiating the Visibility of Critical Infrastructures. *Journal of Visual Culture*, 11(1), 38-57. <https://doi.org/10.1177/1470412911430465>
- STAROSIELSKI, N. (2015). *The undersea network*. Duke University Press.
- TAFFEL, S. (2019). *Digital media ecologies : Entanglements of content, code and hardware*. Bloomsbury Academic.
- The Shift Project. (2018). *Lean ICT. Pour une sobriété numérique*. The Shift Project.
- The Shift Project. (2020, juin 15). *Le Shift Project a-t-il vraiment surestimé l'empreinte carbone de la vidéo ?* The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/shift-project-vraiment-surestime-empreinte-carbone-video-analyse/>
- TSING, A. L., DEGER, J., SAXENA, A. K., & ZHOU, F. (Éds.). (2020). *Feral atlas : The more-than-human Anthropocene*. Stanford University Press.
- TULLY, J. (2009). A Victorian Ecological Disaster : Imperialism, the Telegraph, and Gutta-Percha. *Journal of World History*, 20(4), 559-579.
- TVETEN, J. (2019). Daniel in the Lion's Den : Platform Workers Take on Tech Giants in the Workplace and the World. *New Labor Forum*, 28(1), 60-65.

TZANINIS, Y., MANDLER, T., KAIKA, M., & KEIL, R. (2020). Moving urban political ecology beyond the 'urbanization of nature'. *Progress in Human Geography*, 0309132520903350. <https://doi.org/10.1177/0309132520903350>

VALDIVIA, A. (2024). The *supply chain capitalism of AI* : A call to (re)think algorithmic harms and resistance through environmental lens. *Information, Communication & Society*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2024.2420021>

VELKOVA, J. (2021). Thermopolitics of data : Cloud infrastructures and energy futures. *Cultural Studies*, 0(4-5), 663-683. <https://doi.org/10.1080/09502386.2021.1895243>

NOTES

1. Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse.
2. Agence de la transition écologique.
3. Citons par exemple comme initiatives les travaux des associations Institut du Numérique Responsable, Data for Good ou du groupe de designers Limites Numériques. La présence forte de la thématique numérique-environnement dans l'agenda politique et médiatique a d'ailleurs eu un effet non négligeable sur la recherche en sciences sociales, puisque pas moins de quatre numéros thématiques de revues académiques ont été lancés et publiés depuis 2022 (*Réseaux*, *Les temps qui restent*, *Terminal-Emulation*, *RESET*).
4. Les GPU sont les processeurs majoritairement utilisés pour les jeux vidéos et l'intelligence artificielle générative.
5. En témoigne la loi sur la Simplification de la Vie Économique dont l'article 15, en première lecture à l'Assemblée Nationale au moment où nous écrivons ce texte, vise à faire des grands centres de calculs des Projets d'Intérêt National Majeur, les exemptant d'un certain nombre de contraintes environnementales et démocratiques, parmi lesquels l'objectif de Zéro Artificialisation Net des sols fixé par la loi Climat et Résilience du 22 août 2021.
6. <https://computingwithinlimits.org>
7. Suivre à ce propos les travaux de la doctorante Alexia Pronesti (EHESS) au sujet de la loi Reen, titre provisoire de thèse : "La ville numérique, entre promesse technologique et critique sociale. Une sociologie des controverses éthiques, écologiques et démocratiques sur l'usage des algorithmes dans la cité."

INDEX


Mots-clés : Numérique, environnement, matérialité, métabolisme

AUTEURS

LOUP CELLARD

 IDREF : <https://idref.fr/235059218>

 **ORCID** : <https://orcid.org/0000-0002-9506-2639>

 **VIAF** : <http://viaf.org/viaf/145155767380427761228>

Chercheur dans la coopérative Dataactivist, chercheur associé au médialab de Sciences Po ainsi qu'au *Centre of Excellence for Automated Decision-Making and Society* de l'école de droit de Melbourne.

CLÉMENT MARQUET

Chargé de recherche au Centre de Sociologie de l'Innovation, Mines Paris – PSL, i3 (UMR 9217)