



HAL
open science

Les “ nains ” de l’Internet sont-ils écologiques? Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées

Francesca Musiani

► To cite this version:

Francesca Musiani. Les “ nains ” de l’Internet sont-ils écologiques? Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées. *Tic&société*, 2025, 18 (2), pp.112-134. <10.4000/13vhm>. <halshs-05063107>

HAL Id: halshs-05063107

<https://shs.hal.science/halshs-05063107v1>

Submitted on 11 May 2025

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 CC BY 4.0 - Attribution - International License



Les « nains » de l'Internet sont-ils écologiques? Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées

Are the “dwarfs” of the Internet ecological? Historical and environmental reflections on decentralized network architectures

¿Son ecológicos los “enanos” de Internet? Reflexiones históricas y medioambientales sobre las arquitecturas de red descentralizadas

Francesca MUSIANI



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ticetsociete/9694>

DOI : 10.4000/13vhm

ISSN : 1961-9510

Éditeur

Association ARTIC

Édition imprimée

Pagination : 112-134

Référence électronique

Francesca MUSIANI, « Les « nains » de l'Internet sont-ils écologiques?

Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées », *tic&société*

[En ligne], Vol. 18, N° 2 | 2e semestre 2024, mis en ligne le 28 avril 2025, consulté le 08 mai 2025. URL :

<http://journals.openedition.org/ticetsociete/9694> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/13vhm>

Ce document a été généré automatiquement le 8 mai 2025.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

Les « nains » de l'Internet sont-ils écologiques?

Réflexions historico-environnementales sur les architectures de réseau décentralisées

Are the “dwarfs” of the Internet ecological? Historical and environmental reflections on decentralized network architectures

¿Son ecológicos los “enanos” de Internet? Reflexiones históricas y medioambientales sobre las arquitecturas de red descentralizadas

Francesca MUSIANI

Introduction

- 1 La coexistence, voire l'opposition, entre des systèmes centralisés souvent axés sur le profit, et des architectures ou structures décentralisées contrôlées totalement ou partiellement par l'utilisateur, a été une préoccupation de longue date des sociologues et des historiens des techniques (voir par exemple Edwards *et al.*, 2007, discuté dans Ermoshina et Musiani, 2022). Plusieurs illustrations de cette dynamique prédatent le numérique : par exemple, le conflit entre les opérateurs de télécommunication et la téléphonie « faite maison » dans les zones rurales, avec des clôtures en fil de fer barbelé comme lignes de transmission (Fischer, 1987), ou les installations d'énergie solaire *off-grid* comme moyen alternatif de produire sa propre électricité, en dehors des circuits standards (Turner, 2010). Il n'est donc pas surprenant que la tension entre différents degrés de centralisation remonte aux débuts de l'Internet, et dans les différents

protocoles et applications qui le peuplent. Dans l'histoire des services basés sur Internet, la poussée simultanée vers différents types de choix de conception, en particulier la dialectique entre les architectures pair-à-pair (*peer-to-peer* ou P2P) et client/serveur¹, est depuis longtemps une source de compromis et de tensions a – sociales, techniques, politiques, économiques et juridiques.

- 2 Depuis 2009, je mène des recherches sur ceux que j'ai appelés les « nains sans géants » du numérique (Musiani, 2015), c'est-à-dire les architectures de réseau décentralisées et leurs implications sociopolitiques. Je cherche à comprendre comment le choix, de la part d'ingénieurs et de développeurs, de privilégier ces architectures par rapport à des modèles centralisés a de nombreuses implications pour la conception et la mise en ligne de services que l'on utilise quotidiennement, ainsi que pour notre vie d'internautes (Dulong de Rosnay et Musiani, 2020; Méadel et Musiani, 2016; Musiani, 2015). En effet, les architectures de réseau décentralisées présentent un certain nombre de contraintes et de perspectives inédites. Parmi les contraintes figurent notamment les complications dans les processus d'attribution de responsabilités, la difficulté à choisir et à faire durer sur le long terme des modèles économiques, les obstacles à la structuration durable de communautés. Parmi les perspectives, on retiendra notamment la possibilité de pallier un certain nombre de risques introduits par les modèles centralisés dominants d'aujourd'hui en matière de droits numériques, particulièrement concernant la vie privée et l'autonomie dans le choix de ces outils de communication. J'y reviendrai au cours de l'article.
- 3 Au fil des années, j'ai vu apparaître, en filigrane de ces recherches sur les architectures décentralisées de l'Internet, des questions liées à l'environnement et à l'écologie, sans que je n'aie jamais eu l'occasion de placer ces questions au centre de ma réflexion. L'objectif de cette contribution² est donc de montrer en quoi l'étude des dynamiques de décentralisation et de distribution sur Internet peut éclairer certains aspects du lien entre transition écologique et transition numérique a – et vice-versa, en quoi la thématique environnementale et écologique permet d'étudier sous un jour nouveau certaines facettes des implications sociales et économiques des architectures décentralisées et distribuées.
- 4 L'article se fonde, d'une part, sur une revue de littérature interdisciplinaire qui, au fil des années, a enrichi ma compréhension et mon analyse des architectures décentralisées. D'autre part, il s'appuie sur une reprise d'éléments de terrain tirés d'enquêtes menées entre 2009 et 2021, « revisités » à l'aune de la focale environnementale et écologique appliquée au numérique. Si l'article repose sur un ensemble de recherches originales qui ont toutes fait l'objet de publications précédentes, je n'ai pas conçu de méthodologie ni de *design* de recherche spécifiques à cet article afin de produire des « résultats »; il s'agit d'un article de réflexion sur un enjeu qui me semble important, fondé sur des « bouts » de terrains et d'enquêtes, et sur quinze années d'expérimentations empiriques et conceptuelles dans le domaine des architectures distribuées.
- 5 L'article se compose de trois parties. En premier lieu, je reviendrai sur la définition de la notion d'architecture de réseau décentralisée et sur les raisons pour lesquelles étudier cet objet a priori « informatique », depuis la perspective des sciences sociales, est utile. La deuxième partie de l'article analyse, en puisant dans différents terrains, certaines implications environnementales du choix des architectures techniques décentralisées et distribuées pendant les dix à quinze dernières années. La troisième

partie ouvre la question des liens entre environnement et décentralisation à l'examen des « communautés distribuées » de l'Internet, c'est-à-dire de ces communautés qui s'engagent dans des activités de partage et de collaboration sans pour autant s'appuyer sur une architecture technique décentralisée. L'article se terminera par des conclusions (qui ne peuvent être, à ce stade, que des ouvertures) sur les liens entre écologie, environnement et architectures de réseau décentralisées, notamment dans l'optique d'envisager pour la suite quelques pistes de recherche possibles qui, pour le moment, font encore défaut.

1. Les « architectures décentralisées » et leurs implications sociopolitiques

- 6 Dans cette première section de l'article, je reviens sur la définition d'architecture de réseau décentralisée et sur l'utilité d'appliquer à cet objet la perspective des sciences sociales. Cette section revient sur des éléments qui ont été publiés auparavant dans des textes qui proposaient un cadrage et une définition de cet objet (notamment Méadel et Musiani, 2016, et Musiani, 2015). Ce cadrage offrira, dans les sections suivantes, la possibilité d'investiguer et de développer une perspective novatrice (et inédite jusqu'ici dans mes publications) sur ces architectures.
- 7 L'ensemble des notions qui qualifient une architecture de réseau « décentralisée », « distribuée », « répartie », ou encore « pair-à-pair » est, depuis des décennies, bien présent dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. Ces mots renvoient à une forme d'organisation particulière : un réseau d'égaux ou de pairs qui, à l'aide de systèmes de communication et d'échange appropriés, permet à deux ou plusieurs individus de collaborer spontanément, sans nécessairement avoir besoin d'une coordination centrale. Dans une précédente contribution (Musiani, 2016), j'ai identifié certains éléments communs que ces différents termes sous-tendent, à défaut d'une définition univoque :
 1. de multiples unités de calcul composent le réseau (souvent appelées « nœuds », elles sont dotées chacune d'une mémoire locale et communiquent par échanges);
 2. les objectifs de l'application sont atteints par le moyen d'un partage de ressources (qui peuvent être de plusieurs types) pour servir un but commun (par exemple résoudre un problème de calcul à large échelle) ou des besoins individuels grâce à une coordination de ressources partagées;
 3. le système est tolérant vis-à-vis de la défaillance de nœuds individuels, ce qui a pour conséquence l'absence de point unique d'échec;
 4. le passage à l'échelle se fait de manière souple, puisque les ressources à disposition du réseau augmentent avec le nombre d'utilisateurs;
 5. la structure du système peut être constamment modifiée du point de vue de la topologie et de la latence du réseau, ainsi que selon le nombre d'ordinateurs qui y sont connectés, puisqu'une pluralité de parcours pour un même paquet de données est possible;
 6. chaque nœud peut n'avoir qu'une vision incomplète ou limitée du système.
- 8 Ces caractéristiques font qu'une architecture distribuée n'est pas nécessairement décentralisée (il peut y avoir délégation au réseau distribué d'une tâche qui est ensuite recentralisée), tandis qu'une architecture décentralisée est nécessairement distribuée³ (voir Figure 1).

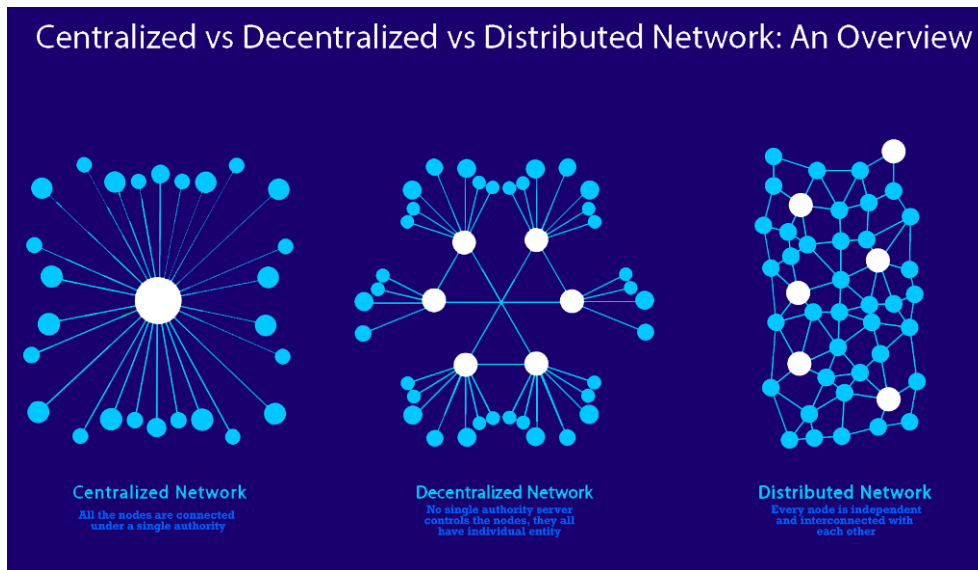


Figure 1 : Le schéma « *Centralized, Decentralized and Distributed Networks* »

Crédit : Paul Baran (1964)

1.1 D'une architecture technique à une théorie des interactions

- 9 Les idées centrales sous-tendant ces architectures sont celles de la collaboration spontanée, de la répartition des ressources, de l'égalité ou l'absence de hiérarchie entre nœuds du réseau, d'une responsabilité des échanges qui se trouvent à la périphérie du système et d'une répartition constante des ressources du réseau entre plusieurs machines; une configuration qui rappelle celle de l'Internet des pionniers, dans lequel primaient la symétrie et l'égalité.
- 10 Le Tableau 1 montre différents niveaux de décentralisation possibles, du plus « profond », lié aux infrastructures, à celui formé par les individus regroupés en communautés, en passant par celui des applications.

Tableau 1. Modèle des « trois niveaux de décentralisation »

Crédit : Musiani, 2015, d'après Schoder, Fischbach et Schmitt, 2005 et Oram, 2001.



- 11 De surcroît, certains travaux ancrés à la fois en philosophie et en informatique ont œuvré à élargir l'analyse des architectures et dynamiques de décentralisation, du principe technique originel qui les sous-tend jusqu'à l'élaboration d'une théorie des interactions plus globale. C'est le cas de travaux, comme ceux de Michel Bauwens et de ses collègues (p. ex. Bauwens, 2005; Bauwens, Kostakis et Pazaitis, 2019), qui examinent la décentralisation des réseaux comme fondement d'une « théorie générale » des interactions humaines collaboratives et directes, dans une perspective d'amélioration de l'efficacité, du partage, de l'accès ouvert et du travail collaboratif sur les réseaux, ainsi que – ce qui nous intéresse plus particulièrement ici – de « développement numérique durable » (Kostakis, Roos et Bauwens, 2016).

1.2 La décentralisation des réseaux, une question d'actualité et d'histoire

- 12 La question de la façon dont le pouvoir, l'autorité et la valeur s'inscrivent dans nos technologies de communication et le fait qu'en même temps, ces technologies sont porteuses de pouvoir, d'autorité et de valeur est soulevée par de multiples disciplines, comme les *science and technology studies*, la sociologie des sciences et des techniques, les sciences de l'information et de la communication, l'économie, le droit et l'ingénierie des réseaux. Comme nous l'avons montré avec Cécile Méadel et l'équipe du projet ANR Adam⁴ (Méadel et Musiani, 2016), ces questions prennent aujourd'hui une ampleur particulière par rapport aux choix techniques, économiques et de *design* qui sous-tendent nos réseaux numériques, étant donné la place grandissante occupée par les géants de l'Internet, les GAFAM, ou encore au vu des controverses autour du chiffrement (en particulier après les révélations Snowden; voir Pohle et Van Audenhove, 2017).
- 13 Les architectures dominantes de l'Internet comportent aujourd'hui un grand nombre de points de passage obligés et sont marquées par la centralisation ainsi que par une forte hiérarchisation, ce qui facilite les atteintes à la vie privée et les pratiques de surveillance, très souvent inscrites dans l'architecture technique. Ce modèle est

souvent mis en cause pour ses excès d'encadrement, de surveillance, d'hégémonie, alors que la (re)décentralisation des architectures techniques des réseaux est comprise comme une alternative possible, voire comme l'occasion d'une « réappropriation » des services Internet (Aigrain, 2010; Musiani et Méadel, 2016).

- 14 Plusieurs obstacles et difficultés qui relèvent à la fois de la technique, de l'économie et du social posent un problème par rapport à cet objectif. En premier lieu, il est difficile, dans une organisation décentralisée, d'attribuer une responsabilité claire pour des pratiques ou des contenus – et aussi pour des violations éventuelles, ce qui la rend plus fragile face à la loi, notamment face aux cadres juridiques actuels, qui sont fortement inadaptés à ces structures. En deuxième lieu, il est difficile d'établir des modèles économiques « immédiats » et durables, ce qui rend ce type d'organisation plus fragile face à un marché numérique quasi monopolistique, basé sur des effets « boule de neige », sur l'économie de l'attention et sur l'extraction massive de données. En troisième lieu, il est difficile de structurer, et encore plus de maintenir ou de motiver sur la moyenne et longue durée, une communauté de contributeurs à une organisation décentralisée.
- 15 En dépit de ces difficultés, nombre de projets collectifs qui relèvent tour à tour de la recherche, du bénévolat ou de l'industrie proposent régulièrement des expérimentations avec ce type d'architecture. Leur intérêt principal est de pallier, par le biais de ces architectures, certains risques introduits par les modèles dominants d'aujourd'hui. Il s'agit, par exemple, de contrer « par la technique » la dépossession des données et des contenus, l'appropriation exclusive et l'extraction de connaissances; de remédier à l'absence de connexion en zones isolées; de proposer des solutions novatrices pour protéger les libertés personnelles (notamment le droit à la vie privée, souvent en convergence avec des techniques de chiffrement); ou encore, de favoriser l'émergence de processus de décision alternatifs et d'environnements participatifs.
- 16 Comme le suggèrent Kostakis, Roos et Bauwens (2016) en parlant du lien entre « développement numérique durable » et décentralisation, il semble pertinent de se poser la question suivante : comment les architectures décentralisées coconstruisent-elles et sont-elles coconstruites par des problématiques liées à l'environnement et à la transition écologique? La deuxième partie de l'article aborde cette question par le biais de plusieurs exemples qui permettent sinon de dégager des « résultats » de recherche au sens classique, à tout le moins d'approfondir la réflexion en la matière.

2. La coconstruction des « nains » de l'Internet et de la démarche environnementale

- 17 Plusieurs travaux récents (notamment ceux consacrés aux centres de données, élaborés par Clément Marquet [2018, 2019]) commencent à montrer les liens entre les infrastructures et les architectures numériques, et les problématiques environnementales et écologiques. Cependant, tout historien-sociologue qui souhaiterait retracer le lien entre ces problématiques et la décentralisation des réseaux aurait de grandes chances de rester sur sa faim. Il existe, à ce jour, très peu de travaux sur les implications environnementales des choix des architectures techniques décentralisées « historiques », et il n'existe pratiquement aucune référence sur les technologies des années 1990 et des débuts des années 2000, comme les outils pair-à-pair de partage de fichiers, considérés sous cet angle. Il existe plus de travaux dans

cette perspective autour de ce qui est sans doute la technologie décentralisée par excellence des années 2010, la *blockchain*, et sur les implications environnementales des communautés et des comportements de type pair-à-pair (de l'économie du partage aux communs énergétiques). En m'appuyant sur un mélange de littératures interdisciplinaires et d'extraits de terrains menés lors de précédentes enquêtes⁵, je tenterai, dans la prochaine section, d'offrir un panorama sociohistorique des questions écologiques et environnementales qu'ont pu poser ces différentes technologies.

2.1 Calcul distribué : un aïeul méconnu de ces débats (1999-2000)

- 18 Entre la fin des années 1990 et le début des années 2000, plusieurs projets ont vu la lumière et se sont développés; des projets que l'on peut considérer, en rétrospective, comme les ancêtres des technologies distribuées et décentralisées d'aujourd'hui, de par leur configuration technique, mais également et surtout pour les enjeux sociaux qu'ils soulevaient. Il s'agit des projets de type @Home, notamment SETI@Home, destiné à analyser des signaux radio dans le but de rechercher des signes d'intelligence extraterrestre. Jusqu'en mars 2020, SETI@Home a été géré comme un projet de calcul distribué effectué par des bénévoles. Dans ce projet, des millions de données étaient envoyées par des chercheurs de l'Université de Berkeley pour être analysées par des ordinateurs personnels qui utilisaient un même logiciel et qui, une fois l'analyse terminée, renvoyaient les résultats à la source. Cette idée, qui a rendu l'initiative très populaire pendant de nombreuses années, a rendu faisable une analyse qui aurait nécessité un temps de calcul faramineux pour un seul ordinateur en « distribuant » la tâche à une grande communauté d'internautes. Or, cette communauté se posait déjà des questions sur l'impact environnemental de ses activités, notamment sur le fait de faire marcher constamment, « dans les coulisses », le logiciel BOINC, sous-tendant SETI@Home et d'autres projets similaires (Figures 2, 3 et 4).

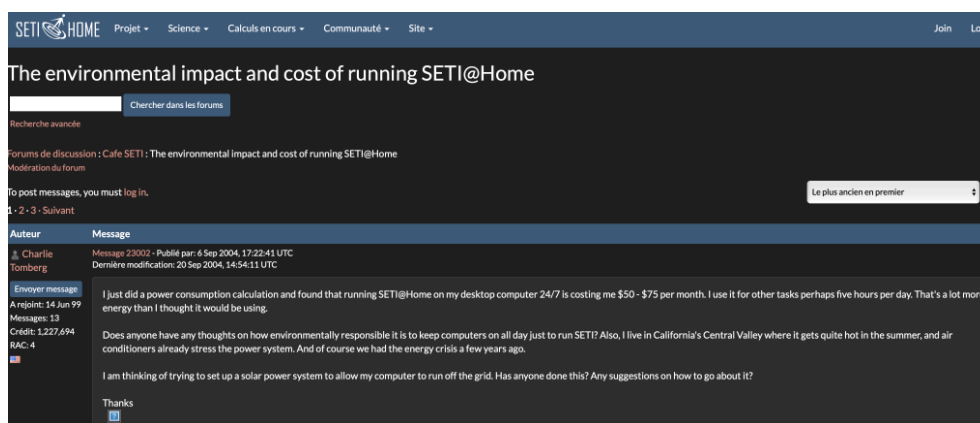


Figure 2. Extrait n°1 du forum de communauté SETI@Home

Crédit : hébergé au <https://setiathome.berkeley.edu> jusqu'en mars 2020

To get back to my original question, does anyone have any thoughts on how environmentally responsible it is to keep computers on all day just to run SETI? Whatever the cost to the consumer of the electricity - and in some areas that cost is the result of government subsidies or cost increase regulations - the electricity has to come from somewhere, and most of the electricity in the U.S. comes from burning fossil fuels (coal, natural gas, oil, etc.) or nuclear. The increase in power demand caused by SETI users is probably quite small - almost trivial - compared the total electricity used (and wasted), but it is not zero, so running SETI presumably has some impact on the environment. Any thoughts on whether it is worth it? What about for other BOINC projects like ClimatePrediction or Predictor@Home?

Figure 3. Extrait n°2 du forum de communauté SETI@Home

Crédit : hébergé au <https://setiathome.berkeley.edu> jusqu'en mars 2020

> The climate BOINCers said if the monitor is off a computer averages about as
> much electricity as a 60 watt light bulb.
>
>

That seems quite low to me. I wonder what their source is?

Figure 4. Extrait n°3 du forum de communauté SETI@Home

Crédit : hébergé au <https://setiathome.berkeley.edu> jusqu'en mars 2020

- 19 Dans ces discussions, on peut retracer plusieurs questions et réflexions qui font écho aux débats autour de la transition numérique et écologique aujourd'hui. Un premier débat concerne le fait que le partage d'une tâche entre des millions d'ordinateurs ait un impact environnemental positif. Un argument critique est par ailleurs mis en avant : qu'une déperdition n'est pas évitable et la concentration ainsi que la centralisation, d'un point de vue purement énergétique, seraient donc plus efficaces. Un deuxième aspect porte sur la manière dont chaque utilisateur, « nain » parmi des millions de nains, peut optimiser sa propre consommation énergétique dans un système distribué. Cette dernière question était d'ailleurs mentionnée en parallèle sur la page « *Distributed computing* » (« Calcul distribué ») de la page Wikipédia de la P2P Foundation; sa section « *Ecological Benefits* » (« Avantages écologiques ») était certes fort succincte – et l'est restée depuis –, mais était présente depuis la fin des années 1990⁶ et suggérait que les avancées dans la conception et la fabrication du matériel qui compose nos ordinateurs pourraient, dans certains cas, rendre ceux-ci plus aptes à mener des tâches de façon efficace par rapport à de grandes infrastructures centralisées.

2.2 Services Internet décentralisés « alternatifs » (pic à la fin des années 2000)

- 20 Au cours de l'histoire d'Internet, plusieurs projets de services numériques « alternatifs » ont vu le jour. L'idée centrale sous-tendant ces projets de développement informatique est qu'en réponse aux GAFAM, il est possible de déployer des services Internet servant les mêmes objectifs (moteur de recherche, réseautage social, stockage de données, ou encore diffusion en continu), mais en les développant sur des architectures distribuées, décentralisées ou pair-à-pair.
- 21 Le « pic d'intérêt » pour cette idée a très probablement eu lieu à la fin des années 2000 (j'ai analysé trois de ces services dans Musiani, 2015), mais celle-ci est encore bien présente à ce jour, par exemple avec l'alternative à YouTube, PeerTube⁷, et avec des plateformes de « microblogging » et de réseautage social de type « fédéré », telles que

Mastodon⁸, qui ont gagné en notoriété médiatique de façon importante à la fin de 2022 à la suite du rachat de Twitter par Elon Musk⁹.

- 22 Tout comme sur les forums de SETI@Home, les implications environnementales des usages de ces services décentralisés ont été activement discutées sur leurs forums respectifs non seulement pendant leur cycle de vie, mais aussi, en mode « réflexivité ex-post », après que d'importants choix de développement aient radicalement modifié certains de ces outils dans le sens d'une plus grande centralisation. Par exemple, un utilisateur de Wuala¹⁰, une application de stockage en pair-à-pair (opérationnelle entre 2007 et 2015), fait le commentaire suivant sur le forum usagers, d'un ton plein de regret, juste après que les concepteurs de l'outil aient annoncé la suspension de la fonctionnalité pair-à-pair en octobre 2011 :

Peut-être ai-je vécu dans une heureuse illusion ces dernières années, mais je pensais qu'en partageant mon stockage avec d'autres utilisateurs de Wuala, je contribuais, d'une manière ou d'une autre, à la santé de notre planète. Je pensais contribuer à réduire la consommation d'énergie en permettant à votre entreprise de stocker des données sur un espace de stockage sous-utilisé sur mon PC et mes ordinateurs portables. (Utilisateur « droom », 3 octobre 2011, 18 h 09, forum utilisateurs de Wuala¹¹)

- 23 Dans ce commentaire, on retrouve l'idée que choisir d'utiliser un service sous-tendu par une architecture décentralisée incarne plusieurs formes d'« activisme technologique ». Utiliser un service distribué et décentralisé signifie, pour cet utilisateur et pour d'autres, de faire partie d'une communauté intéressée par la valeur sociale du partage de ressources matérielles et de calcul, en revenant ainsi à des principes supposés originaux du Net, tels que la coopération, la symétrie et l'égalité. Et plus spécifiquement, cela signifie s'engager dans une démarche environnementale « par l'architecture » : utiliser de l'espace disque, libre et sous-utilisé sur son propre ordinateur plutôt que nourrir les centres de données avec des duplicata de contenus.

2.3 L'avènement de la chaîne de blocs (début 2008-présent)

- 24 Support de célèbres – et controversées – cryptomonnaies, telles que Bitcoin (voir Campbell-Verduyn, 2017), et de plusieurs autres dispositifs qui comportent un registre distribué et unique de transactions, la chaîne de blocs (*blockchain* en anglais) est sans doute la représentation principale de ce qu'est une technologie décentralisée dans l'imaginaire du grand public au cours de la dernière décennie.
- 25 L'idée à la base de la chaîne de blocs est de proposer une technologie de stockage et de transmission d'informations décentralisée sans organe de contrôle. Techniquement, il s'agit d'une base de données distribuée où les informations envoyées par les utilisateurs, et les liens internes à la base, sont vérifiés et groupés à intervalles de temps régulier en blocs, formant ainsi une chaîne; l'ensemble est sécurisé par cryptographie¹². Le principe et la raison d'être de la chaîne de blocs est de gérer une liste d'enregistrements protégés contre la falsification ou la modification par les nœuds du réseau et d'obtenir un registre sécurisé de toutes les transactions effectuées depuis le démarrage du système, même si celui-ci reste distribué.
- 26 Au centre du processus qui permet à la chaîne de blocs d'assurer à la fois un fonctionnement distribué et l'unicité des transactions se tient un mécanisme appelé « la preuve de travail » (*proof-of-work* en anglais). Il s'agit d'un système de validation qui permet de dissuader des attaques ou des abus en requérant de la puissance de calcul et

de traitement par ordinateur au demandeur de service. Son principe technique est le suivant : chaque bloc contient le hachage (un ensemble de calculs) du bloc précédent; chaque bloc contient les informations sur une grande « chaîne » de travail (les interactions précédentes); changer un bloc N (qui n'est possible qu'en créant un nouveau bloc N+1 contenant le chiffrement de la chaîne de bloc précédente N-1) requiert un travail de calcul considérable, car il faut recalculer d'abord le chiffrement du bloc N avant de chiffrer le bloc N+1. Pour résumer, plus le système augmente dans l'espace et dans le temps, plus ses « archives distribuées » sur l'ensemble des nœuds du réseau sont importantes.

- 27 La falsification est donc difficile, voire impossible, dans ce dispositif¹³. Par ailleurs, le prix à payer pour cette unicité et cette non-falsification des transactions a été largement identifié comme étant énergétique et environnemental, car la consommation d'électricité et le temps de calcul augmentent exponentiellement. Il existe deux niveaux au problème. D'un côté, au niveau des machines individuelles, à partir d'une certaine taille de la chaîne de blocs, il n'est plus possible de participer en tant que « petits » utilisateurs : il faut des machines toujours plus puissantes, ce qui engendre une prolifération de points de réintermédiation et de contrôle, ce qui entraîne à son tour des inégalités accrues. De l'autre côté, au niveau global et systémique, l'adoption des chaînes de blocs à large échelle pourrait engendrer des coûts environnementaux de plus en plus significatifs. En juin 2018, le président de la Banque des règlements internationaux, Hyun Song Shin, ouvrait ainsi le rapport annuel de l'organisation : « En termes simples, la quête d'une confiance décentralisée est rapidement devenue un désastre environnemental. »¹⁴
- 28 En 2020, un groupe de chercheurs de l'Université du Nouveau-Mexique a créé un mot pour décrire l'ensemble des impacts environnementaux et sanitaires des échanges numériques via la chaîne de blocs : le « *cryptodamage* » (Goodkind, Jones et Berrens, 2020). Dans un article consacré à ce concept, les chercheurs estiment qu'en 2018, chaque dollar de valeur Bitcoin créé était responsable de 0,49 \$ de dommages pour la santé et le climat aux États-Unis, et de 0,37 \$ en Chine. Les auteurs comparent cette création de valeur avec plusieurs autres dynamiques, telles que la valeur financière générée par les activités de calcul et de génération de cryptomonnaies, la mortalité humaine associée et les impacts climatiques de l'exploitation de ces cryptomonnaies aux États-Unis et en Chine. De nombreuses tentatives pour quantifier l'impact de la consommation d'énergie des cryptomonnaies que sous-tendent des chaînes de blocs ont été élaborées dans les récentes années par différents acteurs, entre autres l'Agence internationale de l'énergie (IEA)¹⁵, Digiconomist¹⁶ ou Statista¹⁷ (Figure 5). En parallèle, des discussions ont eu lieu quant à la possibilité de dépasser la preuve de travail comme mécanisme fondateur des cryptomonnaies pour migrer vers des mécanismes appelés « preuve de participation » (*proof-of-stake*)¹⁸.

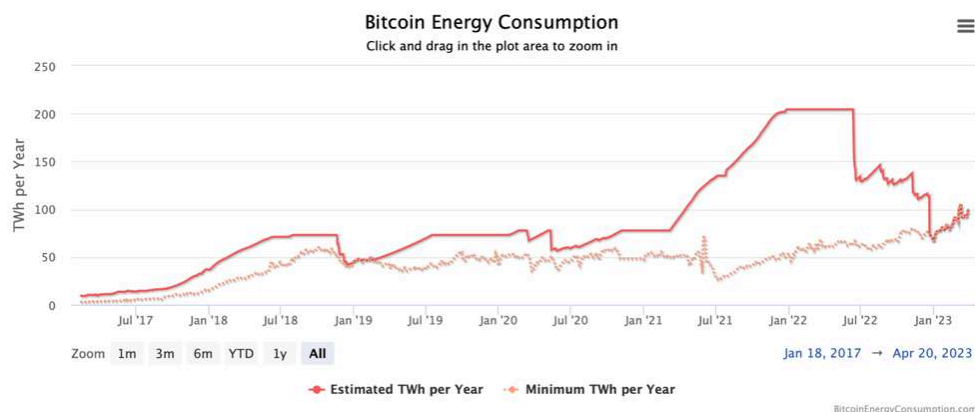


Figure 5. Graphique indiquant la consommation d'énergie de Bitcoin, élaboré par Digiconomist

Crédit : <https://digiconomist.net>

- 29 De façon intéressante, les débats actuels et récents concernant la gestion de la chaîne de blocs esquissent plusieurs pistes pour une gouvernance environnementale et écologique de ces dispositifs. Premièrement, il y a une prise de conscience que le système actuel encourage une « course aux armements » en matière d'équipements de calcul. Ainsi, « comment peut-on faire en sorte que les acteurs qui créent le préjudice soient les mêmes qui paient pour son coût, pour que ce soit pris en considération dans la décision de miner les cryptomonnaies? » (Goodkind *et al.*, 2019) Deuxièmement, s'il y a un consensus sur le fait que la quantité d'énergie utilisée dans le processus d'extraction est énorme, les analystes ne sont pas nécessairement d'accord sur les chiffres exacts, accord qui semble très important comme précondition à une prise de décision. Troisièmement, il y a débat sur l'ampleur des avantages des monnaies numériques, par exemple une efficacité accrue dans le traitement des paiements, et si ceux-ci peuvent l'emporter sur le bilan environnemental ; en cas contraire, si d'autres systèmes de minage moins énergivores peuvent être favorisés, éventuellement par le biais de l'action d'un ou plusieurs régulateurs.

3. Communautés décentralisées et économie du partage (années 2010-présent)

- 30 Avant de conclure cet article, je souhaite brièvement évoquer le lien entre les questions écologiques et environnementales, et les communautés décentralisées (voir le Tableau 1 évoqué précédemment dans la section 1.1), c'est-à-dire ces organisations ou entités virtuelles qui se servent de plateformes d'interaction (dont – il est bon de rappeler – l'architecture technique n'est, elle, pas forcément décentralisée) pour favoriser des activités de communication et de collaboration entre personnes. Dans ces communautés, que plusieurs travaux ont qualifiées d'« économie du partage » (Cheng, 2016) ou d'« économie P2P » (Bauwens, 2010), la décentralisation est donc un principe organisationnel des interactions entre acteurs, mais l'infrastructure technique qui les sous-tend est le plus souvent de type centralisé (par exemple : Uber, AirBnB), ce qui, bien sûr, contribue à informer leur impact environnemental, ainsi que la capacité des chercheurs à entreprendre des analyses, car peu de données sont disponibles et de

façon peu systématique, alors que le secret industriel est très présent. Si le but de cet article était d'évoquer notamment des systèmes où la décentralisation se développe bien sur le plan de l'architecture technique, il peut être utile de mentionner quelques-unes des réflexions qui ont lieu sur le plan de l'économie du partage, car ces travaux sont souvent mentionnés en lien avec ceux sur les technologies pair-à-pair et, grâce à des travaux comme ceux de Michel Bauwens, compris comme une « extension » de ces derniers.

- 31 Koen Frenken (2017) envisage trois futurs possibles pour l'économie du partage : un futur capitaliste structuré autour de superplateformes monopolistiques permettant des services immersifs; un futur dirigé par l'État qui déplace la fiscalité du travail vers le capital et qui redistribue les gains du partage « des gagnants aux perdants »; et un avenir basé sur des plateformes détenues par des coopératives de citoyens sous contrôle démocratique. L'auteur préconise que la nature et l'ampleur des impacts environnementaux devraient être très différentes dans chacun des trois scénarios, et qu'elles dépendront très largement de changements institutionnels encore à venir (Frenken, 2017). Zhifu Mi et D'maris Coffman (2019) vont dans le même sens en soulignant que « de meilleurs modèles de gouvernance sont nécessaires de toute urgence » et que la nouvelle économie du partage a le potentiel de promouvoir les changements nécessaires dans le comportement de consommation collective, pourvu qu'on essaie de tendre vers l'objectif d'une amélioration simultanée de l'efficacité écologique et économique (Mi et Coffman, 2019).
- 32 Enfin, il faut remarquer la manière dont, au-delà des plateformes qui fournissent les services plus connus de l'économie du partage, comme la location d'appartements ou d'automobiles, les questions liées à l'environnement se posent tout particulièrement dans des domaines plus spécifiques de l'économie du partage. C'est le cas, par exemple, des *fab labs*. Kohtala (2016) pose la question de savoir dans quelle mesure les communautés qui gèrent ces lieux de production collaborative choisissent effectivement des projets guidés par des enjeux de durabilité, ou si elles discutent de leurs valeurs par rapport à un « consumérisme » non souhaité. C'est aussi le cas des systèmes distribués de production énergétique. Si les centrales électriques sont traditionnellement de grandes unités centralisées, la nouvelle tendance qui se développe s'oriente vers la production d'énergie distribuée, ce qui implique que les unités de conversion d'énergie sont situées près des consommateurs et que les grandes unités sont remplacées par de plus petites où la distribution et la décentralisation géographiques permettent des dynamiques de proximité favorables à la durabilité de l'environnement (Alanne et Saari, 2006). Mais des auteurs tels que Giotitsas *et al.* (2020) remarquent que « [l]es discussions autour de la non-durabilité des structures socio-économiques dominantes [...] sont entravées par la portée limitée des solutions proposées dans un contexte de statu quo ainsi que par la logique technologique sous-jacente sur laquelle ces solutions sont développées », se demandant, *de facto*, s'il est possible de se libérer du paradigme de la « centralisation à priori ». Il s'agit là d'une question de longue date que se posent les promoteurs de projets structurés de façon décentralisée, à quelque niveau que ce soit – des infrastructures aux communautés, en passant par les applications.

Conclusion

- 33 Depuis les débuts de l'ère numérique, des individus et des communautés ont expérimenté avec des systèmes techniques distribués et décentralisés pour soutenir leurs activités en ligne, le plus souvent en opposition à des systèmes dont la centralisation et les points de passage obligés signifient une captation de la valeur ou un contrôle politique qui permet de créer ou de renforcer une position politique et économique dominante. Un certain nombre de difficultés « systémiques » fréquentes s'interposent souvent entre des solutions intéressantes « sur papier » ou au stade d'expérimentations de recherche et d'adoption à large échelle de ces technologies décentralisées et distribuées. Il s'agit notamment de l'attribution d'une responsabilité claire pour des actions, des pratiques ou des contenus et de l'établissement de modèles économiques durables.
- 34 La décentralisation peut se passer à plusieurs niveaux, des infrastructures et architectures aux communautés, avec des implications environnementales, écologiques et énergétiques très différentes, comme les différents exemples présentés dans cet article l'ont montré. Si la dyade transition numérique/transition écologique est actuellement discutée en référence notamment aux grandes plateformes numériques et aux quasi-monopoles qu'elles ont été capables d'établir, cet article propose de réfléchir, parmi les solutions distribuées et décentralisées, à l'existence d'une grande variété de perspectives et de contraintes. Sans prétendre à une systématisation ni à l'exhaustivité, j'ai tenté, par le biais de plusieurs exemples, d'en tracer un portrait sociohistorique.
- 35 Tout d'abord, nous avons assisté, avec les projets de calcul distribué tels que SETI@Home, à l'optimisation d'une tâche très volumineuse au moyen d'un partage des ressources de calcul des utilisateurs, une stratégie intéressante pour s'attaquer à des tâches « lourdes » pouvant être découpées en plus petits modules, mais comportant des externalités en matière d'impact environnemental vivement débattues par les utilisateurs. Nous avons ensuite suivi l'idée d'« activisme technologique et environnemental », qui a pu se développer avec certains services Internet pair-à-pair, dont la pierre angulaire est la philosophie de recentrage des activités, des services et des données sur les ordinateurs des utilisateurs, en opposition au paradigme de délocalisation propre au *cloud*. Enfin, nous avons montré l'arrivée de la « décentralisation énergivore » avec la chaîne de blocs, notamment appliquée aux monnaies électroniques; pour garantir l'unicité et la sécurité des transactions malgré la décentralisation, le prix à payer est souvent énergétique et environnemental. Enfin, avec l'économie du partage se pose la question du mariage entre les pratiques et communautés pair-à-pair, et les architectures centralisées, et de ses conséquences environnementales.
- 36 Les recherches sur ces questions sont encore très peu systématisées, mais plusieurs programmes de recherche, souvent au croisement des disciplines, sont désormais esquissés. Ils sont cependant rendus compliqués sur le plan méthodologique par la forte dimension de « secret industriel » de certaines plateformes, ce qui rend difficile la comparaison des systèmes fondés sur des architectures centralisées et décentralisées. Enfin, il est opportun de remarquer les débuts de reconnaissance de l'utilité de ces recherches pour contribuer à informer les politiques publiques au croisement entre numérique et environnement, une tendance qui ne pourra pas manquer de s'accroître dans les années à venir.

BIBLIOGRAPHIE

- Aigrain, P. (2010). Declouding freedom: Reclaiming servers, services and data. Dans 2020 FLOSS roadmap (<https://flossroadmap.co-ment.com>). 3^e éd. Repéré à <https://flossroadmap.co-ment.com/text/NUFVxf6wwK2/view/>
- Alanne, K. et Saari, A. (2006). Distributed energy generation and sustainable development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(6), 539-558.
- Bauwens, M. (2005). Peer to peer and human evolution. *Integral Visioning*, 15. Repéré à <http://integralvisioning.org/article.php?story=p2ptheory1>
- Bauwens, M. (2010). Toward a P2P economy. Dans D. Araya et M. A. Peters (dir.), *Education in the creative economy: Knowledge and learning in the age of innovation* (p. 305-330). Lausanne, Suisse : Peter Lang Publishing.
- Bauwens, M., Kostakis, V. et Pazaitis, A. (2019). *Peer to peer: The commons manifesto*. Londres, Royaume-Uni : University of Westminster Press.
- Bortzmeyer, S. (2019). *Cyberstructure : L'Internet, un espace politique*. Caen, France : C&F Éditions.
- Campbell-Verduyn, M. (dir.) (2017). *Bitcoin and Beyond: Cryptocurrencies, blockchains and global governance*. Abingdon-on-Thames, Royaume-Uni : Taylor & Francis.
- Cheng, M. (2016). Sharing economy: A review and agenda for future research. *International Journal of Hospitality Management*, 57, 60-70.
- Dulong de Rosnay, M. et Musiani, F. (2020). Alternatives for the Internet: A Journey into Decentralised Network Architectures and Information Commons. *TripleC: Communication, Capitalism & Critique*, 18(2), 622-629.
- Edwards, P., Jackson, S. J., Bowker, G. C. et Knobel, C. P. (2007). *Understanding Infrastructure: Dynamics, Tensions, and Design*. Report of a Workshop on "History & Theory of Infrastructure: Lessons for New Scientific Cyberinfrastructures", 2007. Repéré à <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/49353/UnderstandingInfrastructure2007.pdf>
- Ermoshina, K. et Musiani, F. (2022). *Concealing for Freedom: The Making of Encryption, Secure Messaging and Digital Liberties*. Manchester : UK, Mattering Press. <https://doi.org/110.28938/9781912729227>
- Fischer, C. (1987). The Revolution in Rural Telephony. *Journal of Social History*, 21, 5-26.
- Frenken, K. (2017). Political economies and environmental futures for the sharing economy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 375(2095). Repéré à <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2016.0367>
- Giotitsas, C., Nardelli, P. H., Kostakis, V. et Narayanan, A. (2020). From private to public governance: The case for reconfiguring energy systems as a commons. *Energy Research & Social Science*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101737>
- Goodkind, A. L., Jones, B. A. et Berrens, R. P. (2020). Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energy Research & Social Science*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101281>

- Kohtala, C. (2016). *Making sustainability: how Fab Labs address environmental issues* [Thèse de doctorat]. Aalto University, Finlande.
- Kostakis, V., Roos, A. et Bauwens, M. (2016). Towards a political ecology of the digital economy: Socio-environmental implications of two competing value models. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, 82-100.
- Marquet, C. (2018). Ce nuage que je ne saurais voir. Promouvoir, contester et réguler les data centers à Plaine Commune. *Tracés. Revue de Sciences humaines*, (35), 75-98.
- Marquet, C. (2019). *Binaire béton : Quand les infrastructures numériques aménagent la ville* [Thèse de doctorat]. Université Paris-Saclay, France.
- Méadel, C. et Musiani, F. (dir.). (2016). *Abécédaire des architectures distribuées*. Paris, France : Presses des Mines.
- Mi, Z. et Coffman, D. M. (2019). The sharing economy promotes sustainable societies. *Nature Communications*, 10(1), 1214. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09260-4>
- Musiani, F. (2015). *Nains sans géants : Architecture décentralisée et services Internet*. Paris, France : Presses des Mines.
- Musiani, F. (2016). Architecture distribuée/repartie/décentralisée/P2P. Dans C. Méadel et F. Musiani (dir.). *Abécédaire des architectures distribuées* (p. 33-38). Paris, France : Presses des Mines.
- Musiani, F. (2022). Une socio-histoire de Wuala (2007-2011). Façonner du 'stockage social' en pair-à-pair. *Le Temps des Médias*, 9(2), 188-204. <https://doi.org/10.3917/tdm.039.0188>
- Musiani, F. et Méadel, C. (2016). "Reclaiming the Internet" with distributed architectures: An introduction. *First Monday*, 21(12). Repéré à <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/7101>
- Musiani, F., Mallard, A. et Méadel, C. (2017). Governing what wasn't meant to be governed: A controversy-based approach to the study of Bitcoin governance. Dans M. Campbell-Verduyn (dir.). *Bitcoin and Beyond: Cryptocurrencies, blockchains and global governance* (p. 133-156). Abingdon-on-Thames, Royaume-Uni : Taylor and Francis.
- Oram, A. (dir.) (2001). *Peer-to-peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies*. Sebastopol, États-Unis (CA) : O'Reilly.
- Pohle, J. et Van Audenhove, L. (2017). Post-Snowden internet policy: between public outrage, resistance and policy change. *Media and Communication*, 5(1), 1-6.
- Schoder, D., Fischbach, K. et Schmitt, C. (2005). Core concepts in peer-to-peer networking. Dans R. Subramanian et B. D. Goodman (dir.). *Peer-to-peer computing: the evolution of a disruptive technology* (p. 1-27). Hershey, États-Unis (PA) : IGI Global.
- Turner, F. (2010). *From counterculture to cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the rise of digital utopianism*. Chicago, États-Unis (IL) : University of Chicago Press.

NOTES

1. De nombreux protocoles Internet sont de type client/serveur, ce qui signifie que les machines qui communiquent ne sont pas équivalentes : l'une est un serveur allumé en permanence et en attente de connexions, les autres sont des clients qui se connectent quand ils ont quelque chose à demander. C'est un mode de fonctionnement logique. Par exemple, dans le cas du Web, lorsqu'on visite un site Web, on est un lecteur, et l'entité qui gère le site Web produit le contenu qu'on

cherche à lire. Mais tous les usages d'Internet n'entrent pas dans ce modèle; certains incluent l'envoi direct de messages ou d'échanges de fichiers – il s'agit alors, non pas d'une communication à sens unique, mais plutôt d'une communication pair-à-pair, avec deux machines ou deux humains communiquant directement. Pour une explication claire de ces modèles de réseau, voir Bortzmeyer, 2019.

2. Le contenu de cet article a été présenté pour la première fois lors de l'atelier du réseau Approches critiques du développement durable (ACDD) ayant pour thème « Le numérique face à la transition écologique », 27 janvier 2021, https://www.reseaucritiquesdeveloppementdurable.fr/download/programme_seance_numerique_face_transition_atelier_acdd-9/, dont je remercie les organisateurs et les participants, notamment Clément Marquet et Laurence Allard, pour leurs retours. Un grand merci à Simon Apartis pour sa relecture sur la forme.

3. Plus particulièrement, parler d'architecture décentralisée, distribuée, répartie, pair-à-pair, etc., correspond à des différences de topologie. Il ne s'agit pas de rentrer dans ce niveau de détail ici, mais, pour le but de l'article, de retenir l'idée centrale d'« accomplir des tâches en mode de partage de ressources ».

4. Architectures distribuées et applications multimédias, projet ANR, 2010-2014, <https://adam.hypotheses.org>

5. Enquêtes menées notamment dans le cadre du projet ANR Adam (voir note 4) et du projet H2020 NEXTLEAP (2016-2018, <http://nextleap.eu>).

6. Une ligne mentionne ceci : « On dit que l'informatique distribuée permet d'obtenir une meilleure efficacité énergétique globale que le calcul intensif centralisé. Les processeurs tels que le Cell sont extrêmement économes en énergie. » (Traduction de : « *Distributed computing is said to achieve better overall energy efficiency than centralized supercomputing. Processors such as the Cell are extremely power sparing.* ») Voir https://wiki.p2pfoundation.net/Distributed_Computing#Ecological_benefits

7. <https://joinpeertube.org>

8. <https://joinmastodon.org>

9. Voir par exemple <https://www.bbc.com/news/technology-63402338>.

10. <https://wuala.com>; voir aussi Musiani, 2022 pour un article sociohistorique qui retrace la vie du dispositif.

11. Traduction de : « *Maybe I have been operating under a happy delusion for the past couple of years, but I thought that by sharing my storage with other Wuala users, I was, in some small way, contributing to the health of our planet. I thought I was helping to reduce power consumption by making it possible for your company to store data on underutilized storage space on my PC and notebook computers.* » Le forum de support utilisateurs de Wuala a en partie été sauvegardé par la Wayback Machine et est disponible à <https://web.archive.org/web/20151117102252/https://support.wuala.com/> (consulté le 31 mars 2023). La page spécifique n'est pas présente sur la Wayback Machine (consultée pour la dernière fois le 15 janvier 2013).

12. De nombreux « tutoriels » sur la blockchain sont disponibles sur le Web, voir par exemple <https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/blockchain-technology>

13. Au moins, tant que le principe technique de la blockchain n'est pas « compliqué » par la présence d'intermédiaires et de délégation de tâches à ceux-ci. Ce type de situation a été à l'origine d'une très grande majorité des fuites et des problèmes dont a fait l'objet la cryptomonnaie Bitcoin, par exemple (voir Musiani, Mallard et Méadel, 2017 pour une description analytique de trois controverses liées aux intermédiaires du système Bitcoin).

14. Traduction de : « *Put in the simplest terms, the quest for decentralised trust has quickly become an environmental disaster.* » <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2018e5.pdf>

15. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/bitcoin-energy-use-estimates>

16. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

17. <https://www.statista.com/statistics/881472/worldwide-bitcoin-energy-consumption/>.

18. <https://medium.com/tqtezos/proof-of-work-vs-proof-of-stake-the-ecological-footprint-c58029faee44>

RÉSUMÉS

Depuis le début du numérique en tant qu'ensemble de technologies d'information et de communication, des individus et des communautés expérimentent avec des systèmes soutenus par des architectures techniques distribuées et décentralisées. Cet article propose un ensemble de réflexions sur la façon dont l'étude des dynamiques de décentralisation et de distribution sur Internet peut éclairer certains aspects du lien entre transition écologique et transition numérique. Symétriquement, l'article propose de réfléchir aux manières dont le prisme environnemental et écologique permet d'étudier sous un jour nouveau certaines facettes des implications sociales et économiques des architectures décentralisées et distribuées. L'article est nourri par des extraits d'enquêtes de terrain effectuées depuis 2009 et par une revue de littérature interdisciplinaire.

Individuals and communities have been experimenting with distributed and decentralized technical architectures since we first began considering digital technologies as our primary information and communication devices. This article reflects on how studying the dynamics of decentralization and distribution on the Internet can shed light on specific aspects of the relationship between ecological and digital transitions. Symmetrically, the article reflects on how using an environmental and ecological prism may highlight certain facets of the social and economic implications of decentralized and distributed architectures. The article is informed by extracts from field surveys carried out since 2009, and by an interdisciplinary literature review.

Desde los inicios de la tecnología digital como nuestro principal instrumento de información y comunicación, los individuos y las comunidades han experimentado con sistemas respaldados por arquitecturas técnicas distribuidas y descentralizadas. Este artículo ofrece un conjunto de reflexiones sobre cómo el estudio de las dinámicas de descentralización y distribución en Internet puede aclarar ciertos aspectos del vínculo entre transición ecológica y transición digital. Simétricamente, el artículo propone reflexionar sobre cómo el prisma ambiental y ecológico nos permite estudiar bajo una nueva luz ciertas facetas de las implicaciones sociales y económicas de las arquitecturas descentralizadas y distribuidas. El artículo se basa en extractos de estudios de campo realizados desde 2009 y en una revisión interdisciplinaria de la literatura.

INDEX

Palabras claves : arquitectura técnica, distribución, descentralización, ambiente, ecología, Servicios de Internet, cadena de bloques, economía colaborativa

Keywords : RT France (Russia Today), transnational news media, alternative media, audience research, online activism

Mots-clés : architecture technique, distribution, décentralisation, environnement, écologie, service Internet, blockchain, économie du partage

AUTEUR

FRANCESCA MUSIANI

Francesca Musiani est directrice de recherche au CNRS, directrice de l'UPR 2000 Centre Internet et Société, et directrice adjointe du Groupement de Recherche Internet, IA et Société, Paris, France. francesca.musiani@cnrs.fr