

Changer de métrique: vers un traitement du signal convivial?

Romain COUILLET *

Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France

romain.couillet@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé – Les figures de mérite en traitement du signal, comme dans de nombreux autres domaines, sont ancrées dans une quête de *performance* (débit, efficacité spectrale, taux d’erreur, etc.). Dans une ère où les ressources physiques et le niveau de viabilité de la planète s’épuisent, cette course à la performance accroît les risques d’effondrement soudain de technologies spécifiques, et de l’ensemble de la société thermo-industrielle.

Cet article ouvre une réflexion sur de nouveaux critères d’évaluation des solutions technologiques du traitement du signal, en s’appuyant sur les travaux d’Ivan Illich et particulièrement sur la notion de *convivialité*, ainsi que sur des exemples concrets de cas d’études ayant pris avec succès le virage de la technologie conviviale.

Abstract – The figures of merit in signal processing, as in other domains, seek *performance* (rate, spectral efficiency, error rates, etc.). In an era of decaying resources and planet viability, this race for performance increases the risks of a sudden collapse of technologies and of the whole thermo-industrial society.

The article opens a debate on new criteria to evaluate technological solutions from signal processing, based on the works of Illich and the notion of *conviviality*, as well as on concrete successful case studies.

1 “Comment tout peut s’effondrer” [1]

Le traitement du signal (TS) est né avec l’essor de la société thermo-industrielle et constitue l’un des rouages d’un système économique basé sur une croissance matérielle exponentielle. Mais assurer une telle croissance exige en retour une quantité exponentiellement croissante de ressources et d’énergie (minerais et pétrole principalement) qu’il est déjà difficile d’extraire au rythme actuel [2, 3]. Ce procédé extractif mobilise par ailleurs l’énergie métabolique de toujours plus d’êtres humains – issues principalement des anciennes colonies de l’Occident [4] – et stérilise une quantité en expansion permanente de territoires et habitats des autres qu’humains [1, 5].

Formellement, un système basé sur une croissance matérielle exponentielle dans un espace aux ressources finies se fragilise puis – si rien n’est fait – s’effondre lorsque ces ressources s’épuisent, cet effondrement étant d’autant plus brutal que la pente (elle-même exponentiellement croissante) de la production matérielle est forte. Nous savons aujourd’hui, nombreux rapports à l’appui (le rapport Meadows tout d’abord [6] puis les nombreux rapports du GIEC au niveau mondial [7] et du Shift Project en France [8]), que les dynamiques du système-Terre, largement affectées par l’activité anthropique, ont déjà dépassé des seuils de non-retour qui induisent des modifications profondes dans le fonctionnement de la planète et dans les capacités de résilience du vivant, humains y compris. Parmi ces dépassements, la quantité des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, NO₂, HFC, etc.) présents dans l’atmosphère terrestre excède des valeurs jamais observées depuis 3 millions d’années

et engage le système-Terre dans une boucle de rétroaction positive augmentant la température moyenne. Il en va de même pour l’extinction du vivant à un rythme 1,000 à 10,000 fois supérieur à la normale, ce dernier point fragilisant l’humanité en affectant la viabilité des ressources alimentaires.

Si on tisse le lien entre TS et évolution du système-Terre, le premier seuil de fragilité du domaine concerne la dépendance absolue en énergie (pétrole, électricité) et minerais (métaux, silicium) qui s’aggrave à mesure que les technologies se déploient dans toutes les strates sociétales (un smartphone contient plus de 50 métaux différents, la plupart extraits en deçà du gramme par tonne de roche déplacée [3]). L’effondrement d’un seul de ces composants (crise pétrolière, pénurie ou prédation d’une ressource) neutralise l’ensemble du système et une société *occidentale* de moins en moins préparée à faire face.

Le deuxième niveau de fragilité concerne précisément cette dépendance sociale aux *outils d’amélioration de la qualité de vie* issus entre autres des avancées en TS. Le déploiement massif des technologies numériques et du traitement des données (logistique d’approvisionnement alimentaire, échange et stockage d’informations par communications mobiles, technologies médicales, système bancaire dématérialisé, intelligence sécuritaire et militaire, etc.) augmente le niveau de fragilité de toute l’infrastructure sociétale. De plus, la capacité de résilience des individus, dont les savoirs et savoir-faire (se nourrir, se soigner, s’entraider) ont été déportés vers les machines, a été fortement affectée par le développement technologique.

Il vient de ce constat que la continuité d’un développement technologique aveugle – TS moderne inclus – augmente la vulnérabilité de la société et précipite son effondrement [6]. Se

*Ce travail entre dans le cadre des activités de l’axe “IA soutenable” du projet MIAI à l’Université Grenoble-Alpes.

pose alors la question de la reconstruction nécessaire du domaine du TS qui, au même titre que les autres disciplines de production de connaissances, doit accompagner la résilience des humains et non-humains à un avenir contraint en énergie, en ressources minérales et devenu hostile à la vie. L'enjeu de cet article est d'ouvrir ce chantier, vaste mais urgent, en abordant une discussion sur les métriques qu'un outil technique ou technologique doit satisfaire pour être maximalelement cohérent avec les enjeux sociaux-environnementaux.

Nous nous appuyerons pour cela sur le travail d'Ivan Illich [9] autour de la notion de *convivialité des outils* que nous exploiterons comme point d'ancrage pour une première définition de métriques d'une recherche résiliente en TS.

2 La convivialité

Illich analyse dans les années 1970 la croissance du monde thermo-industriel sous l'angle de la dépendance accrue de la société aux machines. Contrairement au rapport Meadows [6], il ne s'intéresse pas aux dynamiques du système (alimentaire, industrielle, population) mais à l'évolution de l'humain. Il n'est donc pas question de traiter de limites "physiques" mais des limites sociétales imposées par le système thermo-industriel.

2.1 La ligne rouge de la convivialité

Illich étudie les *outils* qui façonnent les sociétés : l'ensemble des techniques, technologies, mais aussi des organisations et structures sociétales qui apportent un service aux humains. Il s'est penché plus spécifiquement sur l'outil *école* comme vecteur d'instruction, *médecine* comme vecteur de santé, *véhicule* comme moyen de déplacement, mais aussi *recherche scientifique* comme générateur et diffuseur de savoirs et savoir-faire.

Pour Illich, l'intérêt premier d'un outil est d'augmenter le pouvoir d'action de son ou ses utilisateur-es (utilité). L'outil ne doit cependant pas induire de dépendance chez l'utilisateur-e si iel devient incapable de survivre sans son outil. L'outil doit en cela demeurer un moyen et non une fin. L'outil doit également demeurer sous le contrôle de l'utilisateur-e (réparabilité, maîtrise technique); en cela, l'outil ne saurait imposer un *monopole radical* sur le mode de vie de l'utilisateur-e. L'outil ne saurait également augmenter l'action d'un-e utilisateur-e si cela induit en retour la diminution du rayon d'action d'autres membres de la société (équité, impact sur le milieu). L'ensemble de ces notions définit ce qu'Illich nomme la *convivialité* de l'outil [10]. Une société équipée d'outils techniques, structurels et logistiques conviviaux est une *société conviviale*.

Cette notion de convivialité est multispectrale : les outils non conviviaux peuvent induire une détresse psychologique (frustration due aux inégalités d'accès à l'outil, sentiment de perte de contrôle, sentiment d'aliénation à une technologie non désirée), des tensions géopolitiques (colonisation et aliénation des pays producteurs de ressources), un monopole radical par l'outil (logements loin des villes qui crée l'obligation d'accès à un véhicule non réparable car technologiquement complexe), une

perte de communs et d'entraide (les chaînes logistiques se substituent au lien social), une désappropriation des savoir-faire (la médecine high-tech s'approprie la capacité de l'humain à prendre soin de soi) mais aussi de la génération et du contenu des savoirs (la technologie dicte les axes de la recherche et la population n'est plus en mesure de s'appropriier les savoirs). Il est fondamental ici de noter que certains de ces axes de non-convivialité sont difficilement *mesurables* et font plutôt appel à des notions seulement *palpables* ou même *intuitives*; cette remarque aura de fortes conséquences dans notre tentative de définition d'un *traitement du signal convivial* en Section 3.

La prise de conscience (déjà présente dans les années 1970 mais relativement oubliée depuis) de l'extrême urgence environnementale et de viabilité à courte échéance de la planète remplace la pensée d'Illich au cœur d'un débat autour des nombreux risques de *non-résilience* d'une société dont le fonctionnement pousse à une forme exacerbée de dépendance aux technologies. Cette dépendance augmente par des boucles de rétroaction positive le degré de ces risques, les premières formes de dépassements physiques précurseurs d'un effondrement du système étant de plus en plus visibles.

Bien plus qu'une réflexion systémique sur les méfaits d'une société technologique – Illich ne rejette en rien la notion de développement technique –, la convivialité produit un espace multivarié (dépendance à l'outil, contrôle ou réparabilité, égalité de traitement et impact sur le milieu, augmentation du rayon d'action, etc.) au sein duquel s'inscrivent les outils de la société. Cet espace possède une frontière, disons une ligne rouge, au delà de laquelle l'outil ou la famille d'outils étudiés sont considérés comme non-conviviaux et donc susceptibles d'accroître les risques de non-résilience.

Illich illustre ces dépassements à l'aide d'exemples. Sur la question des transports, il démontre que la bicyclette est un outil convivial mais que la *voiture personnelle* dépasse le seuil de convivialité (elle n'est pas accessible à tous, induit un monopole radical sur l'occupation du territoire et aliène son utilisateur-e) [11]. Au sujet de la *médecine moderne*, hormis le développement des traitements de maladies contagieuses, Illich démontre qu'elle destitue le pouvoir de la population à assumer individuellement et collectivement son bien-être physique et psychologique, et qu'elle impose un monopole radical sur la sacralisation de la vie (et donc sur les mœurs) [12]. Dans [13], Illich montre que la vocation d'instruction collective aux savoirs et savoir-faire de *l'école* a été détournée au profit d'un enseignement à servir et entretenir un système de machines, et ce au détriment de savoirs et savoir-faire élémentaires (se nourrir, se soigner, connaître et gérer son habitat) [13]. Mais l'outil considéré par Illich comme le plus dangereusement *non-convivial* [10] est celui de la production et du partage des savoirs, précisément au centre des préoccupations de cet article.

2.2 Convivialité et recherche scientifique

Si la *recherche scientifique* a bien pour but d'augmenter la capacité d'action des femmes et des hommes, Illich – comme

Grothendieck à la même période [14] – pointent de nombreux dépassements de convivialité. Cet outil est tout d’abord confiné à une élite qui génère un savoir ésotérique devenu trop complexe pour être exploitable par la population (et même par les chercheurs lorsque le savoir sort de leur thème) : la population n’est plus en mesure de faire remonter ses besoins. Un monopole radical s’opère alors : la connaissance sort des mains de la population et façonne les modes de pensée et les modes de vie *sans l’humain*, par exemple en créant des besoins (il est pour beaucoup devenu impensable de sortir de chez soi sans téléphone portable ou de s’orienter sans GPS). Ce monopole radical induit une intense dépendance individuelle (services uniquement disponibles sur Internet) et sociétale (chaînes d’approvisionnement d’eau, nourriture, électricité entièrement informatisées) à la technologie issue de la recherche scientifique.

Dans une société résiliente aux soubresauts attendus de son milieu (événements climatiques, tensions géopolitiques, pénurie et prédation des ressources), il convient que l’ensemble des savoirs et savoir-faire assurants la viabilité d’une société sur son territoire (production et logistique alimentaire, entraide et soins élémentaires, protection physique et psychologique, soutenabilité de l’activité industrielle) soit partagé par une large part des acteurs de la communauté et non plus par une poignée d’experts. Il convient également que les connaissances essentielles soient toujours matériellement accessibles (écrits papier plutôt que stockage informatique). L’ironie de l’évolution de la civilisation thermo-industrielle est qu’aujourd’hui certains pays du sud, dits “en voie de développement”, ont un plus haut degré de résilience à l’évolution environnementale en ce sens qu’ils ne dépendent pas de technologies reposant sur un pétrole et des minerais devenus rares, et que leur fonctionnement logistique local – basé sur l’entraide et le partage communautaire des savoirs et savoir-faire – est bien moins fragile que celui des pays occidentaux¹ dont la survie à une pénurie soudaine et durable de pétrole paraît impossible.²

Un enjeu majeur est de parvenir dès aujourd’hui à réduire de manière drastique la dépendance des sociétés au pétrole, aux minerais métalliques et donc aux outils de haute technologie. La direction prise par les *low-tech* [17], bien au-delà de l’aspect purement technique, s’inscrit précisément dans la mise en place d’une société conviviale d’outils réparables, non-aliénants, reposant sur des ressources simples et renouvelables, et favorisant le retour à l’usage d’énergies de flux et métabolique (dont humaine) au détriment des énergies de stock [18]. Recentrée sur le TS, la question que nous ouvrons ici est double :

1. le TS se prête-il à un virage convivial? Autrement dit, est-il pertinent de développer et d’engager la recherche scientifique vers un *TS low-tech*? En cas de réponse négative, il conviendrait de réorienter les efforts de production de savoir à des fins de résilience et d’amorcer la transition vers des métiers des secteurs primaires et

secondaires dans lesquels une importante main d’œuvre serait bientôt requise [18];

2. si un avenir convivial pour le domaine est envisageable, quelles métriques doivent être mises en place pour évaluer et comparer la convivialité des outils de TS? (si un réseau de neurones profonds est plus performant qu’un régresseur linéaire, est-il pour autant plus convivial?)

Sans prétendre apporter de réponses définitives, nous proposons d’ouvrir ici une première discussion sur ces points.

3 Mesurer la convivialité en TS

3.1 La transition conviviale

Le GIEC nous rappelait en 2011 que la planète possède un “quota” d’émissions de 1,000 GtEqCO₂ afin de contenir le réchauffement global en deçà des +2°C par rapport à l’époque pré-industrielle, objectif déjà fortement impactant pour la viabilité de la Terre. Au rythme de 40 GtEqCO₂/an émis depuis 2019, cet objectif ne peut être raisonnablement atteint qu’en imposant une décroissance de l’activité économique de -7%/an *ad vitam eternam* [19].³ Le domaine du numérique, impulsé pour part par le traitement du signal, suit au contraire une pente estimée à +9%/an, les équipements numériques ayant quintuplé en dix ans, les métaux utilisés étant de plus en plus nombreux et d’extraction exponentiellement coûteuse, etc. [20].

L’enjeu d’une transition conviviale du TS est donc de parvenir à basculer d’une croissance insoutenable vers une décroissance des produits et usages, tout en garantissant l’intégrité des structures (laboratoires de recherche, entreprises, état). Il s’agit notamment d’embrasser la philosophie low-tech en visant le développement (ou le retour à) des outils durables, d’usages primaires, adaptés à un lieu et un contexte temporel, et réalouant du pouvoir d’action et de décision à l’utilisateur-e [21, 22]. Notons ici que ce *retour aux outils élémentaires* n’est pas étranger au TS qui a historiquement remis à plat des outils complexes au moyen de concepts élémentaires (régression linéaire, entropie). C’est le cas de travaux récents en intelligence artificielle dont la fuite en avant des réseaux de neurones profonds est parfois rattrapée en pratique par des outils bien plus basiques, clairs et tractables issus du traitement statistique du signal. Cette approche de retour aux notions de base, largement acceptées, comprises et maîtrisées par les utilisateurs ayant une formation scientifique rudimentaire, est un fort atout de convivialité de la méthodologie TS.

Un écueil de la voie des outils *fondamentaux* est cependant d’atteindre de hauts niveaux d’abstraction qui éloignent à nouveau la population de la maîtrise du savoir généré, mais aussi le chercheur des finalités sociétales de ses travaux. Le chercheur se déresponsabilise alors des usages *a posteriori* potentiellement néfastes de sa recherche (Grothendieck le dénonçait déjà

1. Voir sur ce point l’émissaire du Bangladesh dans le film *Animal* [15].

2. À ce titre, l’aire urbaine d’Avignon est la plus auto-suffisante en France, mais elle ne peut nourrir que 8% de sa propre population [16].

3. C’est une simple intégrale d’exponentielle décroissante : $\sum_{t=0}^{\infty} 40(1-x)^t dx = 600 = 1000 - 10 \times 40$ (on soustrait les dix années de “manquement” à l’objectif depuis 2011) dont la solution vaut $x = 40/600 \simeq 0.073$.

en 1973 [14]). La voie d'un TS convivial se situe sûrement dans un "juste milieu" méthodologique entre principes fondateurs formels et un contrôle permanent et éclairé des usages.

3.2 Les critères pour un TS convivial

L'évaluation et la comparaison des méthodes de TS s'effectue aujourd'hui à l'aune d'une *métrique de "performance"*, généralement unique et absolue (taux de classification, taux de détection) et qui efface souvent tout autre aspect mélioratif des méthodes mises en place. C'est ainsi notamment que les réseaux de neurones profonds, l'ordinateur quantique ou encore la 6G sont au cœur du TS moderne, du fait de l'éblouissement induit par leurs performances potentielles, et ce en dépit d'une consommation énergétique et matérielle devenues intenable [20, 23] et de finalités d'usage discutables devant les enjeux de résilience et de maintien de la viabilité planétaire.

L'enjeu de la construction d'un *TS convivial* est d'établir au contraire une *mesure de convivialité* des outils développés. Cette métrique est multi-critères et doit viser à l'augmentation du pouvoir d'action de l'utilisateur, de la résilience de la population et au maintien de la stabilité des structures sociétales. Pour définir ces critères, une adaptation au TS de la définition de la convivialité et de ses limites, longuement affinée par Illich, est un excellent point de départ. La Figure 1 en donne un exemple dans le contexte de [27] discuté plus loin. Elle illustre la comparaison de deux outils évalués selon plusieurs critères de convivialité en mettant en avant la démarcation de zones jaunes et rouges de dangers de résilience (induits par le risque de disparition durable d'une ressource pour alimenter ou réparer l'outil, ou le risque d'aliénation de l'utilisateur à son outil).

Indépendamment de la liste précise des critères de convivialité, qu'il conviendrait d'étudier plus en profondeur, il est important de souligner une rupture méthodologique centrale : certains des critères de résilience sont difficilement mesurables, accessibles par l'intuition plus que par la raison, ou même intrinsèquement impalpables. Cet aspect fondamental remet en jeu la rigueur cartésienne de la démarche scientifique, mais ne saurait pourtant être mis de côté au risque d'un retour – à défaut de mieux – à une métrique unique et réductrice (de performance, d'émission de CO₂, etc.). S'ouvrent alors des questions profondes de *légitimité* et de *mandat* du chercheur, notamment en TS, à dépasser le cadre strict de l'évaluation de métriques chiffrables : le chercheur se doit-il de devenir un chercheur-militant comme débattu dans [24] ? Engager cette voie ouvre alors la possibilité à une résistance collective à la course insoutenable à la croissance économique et matérielle, un message que le CSI de la section INSB (biologie) du CNRS a déjà relayé en incitant et valorisant la transition de ses chercheur-es [25].

4 Quelques exemples

Remanier profondément et rapidement une discipline, même si l'urgence nous y oblige, passe par des étincelles de motivation au moyen d'exemples concrets de réussites de transition.

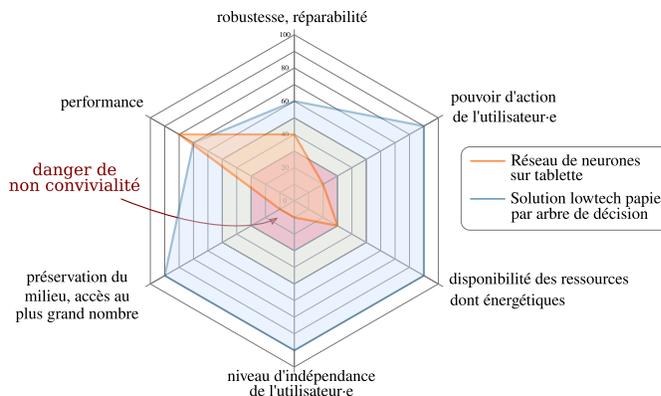


FIGURE 1 – Diagramme de convivialité de l'étude [27].

Un premier exemple marquant est celui de la société Xerox qui a pris le contrepied d'un marché de la vente matérielle d'imprimantes au fort impact écologique en devenant une société de service d'impressions – en louant les machines, devenues alors plus durables et fiables, et bien moins nombreuses [26].⁴ La convivialité de l'outil apparaît ici dans une capacité réelle à dématérialiser l'activité, à rendre le service disponible au plus grand nombre, à augmenter la robustesse du point de vue de l'utilisateur, tout en augmentant le niveau de performance moyen. Dans le domaine de la recherche en intelligence artificielle (IA) appliquée, signalons le cas exemplaire du Dr d'Acremont qui utilise des outils d'apprentissage machine afin d'inférer un arbre de décision (matérialisé sur un support papier) optimisé pour soigner les enfants d'un village de Tanzanie, mais surtout permettant aux bénévoles non médecins d'acquérir une connaissance nouvelle, et ce sans plus jamais avoir besoin de la technologie d'IA ayant fourni ce savoir [27]. Cet exemple est marquant en ce qu'il augmente le pouvoir d'action, est fortement égalitaire, a un impact environnemental nul et n'introduit aucune dépendance à une machine – qui sort *in fine* totalement du système. Ces exemples concrets nous permettent d'imaginer d'autres cas d'étude, comme la transformation de l'Internet des objets et de l'IA en un *service de capteurs intelligents* à usage limité dans le temps permettant d'inférer le comportement d'un système (la température ou l'aération d'un lieu d'étude) et d'apporter des outils comportementaux de bon sens à l'utilisateur (ouverture de telle fenêtre à telle heure, sous telle condition, etc.). Ces idées enclencheraient une *décroissance matérielle* au profit d'un accompagnement des chercheurs dans une évolution progressive de leurs métiers, et d'une redistribution des savoirs, savoir-faire et capacité d'engagement d'une population en quête de pouvoir d'action.

Le chemin vers un TS convivial est angoissant (souhaite-on risquer notre carrière au service d'une planète malmenée par ailleurs ?) mais devient à la fois pressant et inévitable. Des actions et des pistes aujourd'hui existantes, sont à portée de main, et forment autant de leviers favorables à un engagement collectif, constructif et enthousiasmant du-de la chercheur-euse en TS.

4. Même si la motivation première n'était pas écologique.

Références

- [1] Servigne, P., & Stevens, R. (2015). Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes. Média Diffusion.
- [2] Jancovici J.-M. (2018). À quand le pic de production mondial pour le pétrole? <https://jancovici.com/transition-energetique/petrole/a-quand-le-pic-de-production-mondial-pour-le-petrole/>
- [3] Stephant A. (2022) L'effondrement, le point critique. <https://www.thinkerview.com/aurore-stephant-leffondrement-le-point-critique/>
- [4] Ferdinand, M. (2019). Une écologie décoloniale – Penser l'écologie depuis le monde caribéen. Média Diffusion.
- [5] Barrau, A. (2019). Le plus grand défi de l'histoire de l'humanité. Michel Lafon.
- [6] Meadows, D. H., Randers, J., & Meadows, D. L. (1973). The Limits to Growth. Yale University Press.
- [7] <https://www.ipcc.ch/>
- [8] <https://theshiftproject.org/>
- [9] Illich, I. (2004). Œuvres complètes (Tome 1 et Tome 2). Fayard.
- [10] Illich, I., Giard, L., & Bardet, V. (1973). La convivialité. Éditions du Seuil.
- [11] Illich, I., Giard, L., & Dupuy, J. P. (1973). Énergie et équité. Éditions du Seuil.
- [12] Illich, I. (1975). Némésis médicale (Vol. 9, pp. 351-364). Éditions du Seuil.
- [13] Illich, I., & Durand, G. (1971). Une société sans école. Éditions du Seuil.
- [14] <https://www.inmysteriam.fr/documents-videos/enregistrements-audios/alexander-grothendieck-conference-au-cern-le-27-01-1972.html>
- [15] Dion C. (2021) Animal.
- [16] https://www.ledauphine.com/actualite/2019/09/27/autonomie-alimentaire-avignon-et-valence-championnes-de-france;voir_aussi_https://www.utopies.com/publications/autonomie-alimentaire-des-villes/
- [17] Bihouix, P. (2014). L'Âge des low tech. Vers une civilisation techniquement soutenable : Vers une civilisation techniquement soutenable. Média Diffusion.
- [18] Le Shift Project (2022). Plan de Transformation de l'Économie Française. <https://theshiftproject.org/article/fiches-plan-transformation-v1/>
- [19] Le Shift Project (2017). Modeling global emissions trajectories compatible with a +2°C carbon budget https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2017/12/analysis_report__indcs_and_carbon_budget_the_shift_project.pdf
- [20] Ferreboeuf, H., Kahraman, Z., Efoui-Hess, M., Berthoud, F., Bihouix, P., Fabre, P., ... & Ridoux, O. (2018). Lean ICT Pour une sobriété numérique. Rapport Intermédiaire du Groupe de Travail—The Shift Project; Agence française de développement and the Caisse des Dépôts : Paris, France.
- [21] Carrey, J., Lachaize, S., & Carbou, G. (2021) Les low-techs comme objet de recherche scientifique. Vers une société pérenne, équitable et conviviale. La Pensée Écologique.
- [22] Guimbretière, G., Hodencq, S., & Baland, M. (2022) Une approche de la Low-tech dans l'Enseignement Supérieur et la Recherche. La Pensée Écologique.
- [23] Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K., & Manso, G. F. (2021). Deep Learning's Diminishing Returns : The Cost of Improvement is Becoming Unsustainable. IEEE Spectrum, 58(10), 50-55.
- [24] Podcast BorderLine. Le chercheur-militant, un nouveau citoyen? <https://podcast.ausha.co/borderline/chercheur-militant-nouveau-citoyen>
- [25] CSI du CoNRS INSB (19 octobre 2019). Recommandation Environnement.
- [26] Les Echos (2012). Le cas Xerox : une stratégie de différenciation hors du commun. http://archives.lesechos.fr/archives/cercle/2012/05/14/cercle_46819.htm
- [27] D'Acremont V. (2021). Technologies et santé : Quels compromis entre éthique, environnement et climat? Analyse réflexive et expérience de terrain. https://www.youtube.com/watch?v=oKcy_cY0Q0w