

Mon entrée en résilience

Romain COUILLET *

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

romain.couillet@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé – Dans ce document qui casse volontairement les codes et dont la volonté est d’engager les lecteurs dans l’imaginaire d’un changement sociétal possible et enthousiasmant, j’explique pourquoi j’ai décidé de mettre de côté ma recherche actuelle pour me consacrer à l’étude de la résilience de la société dans un monde post-industriel imminent. Je conclus en imaginant ce que pourrait être le colloque “GRETSI d’après”.

Abstract – In this singular paper, aiming to engage the reader into thoughts of an enthusiastic societal transition, I explain why I decided to set aside my current research to work on post-industrial resilience. I conclude with what could be “GRETSI d’après”.

1 Business as usual

“En fait qu’est-ce qui t’enthousiasme au quotidien dans ton travail ?” C’est la question, que j’ai depuis souvent ruminée comme fort naïve, que je me souviens très nettement avoir posée au collègue avec qui j’allais travailler si j’acceptais ce poste de développeur C pour ST-Ericsson. Sa réponse, je m’en rappelle nettement aussi, s’est limitée à un petit rire gêné. Pour moi, c’était impensable d’utiliser 1% des connaissances qu’on m’avait inculquées et passer mon existence à “pisser du code”. J’ai décidé de faire une thèse. On est en 2007. Mon sujet (CIFRE) consiste à développer des séquences d’apprentissage pour la synchronisation des futurs réseaux 4G. Cela aussi aura suscité un éclat de rires chez Mérouane Debbah, mon encadrant académique. Finalement un coup de sort m’amènera à travailler sur la théorie des matrices aléatoires pour améliorer les modèles de télécommunications modernes.¹

C’est pour moi un véritable point de bascule dans ma vie. Le sujet est mathématiquement passionnant, je le maîtrise, je le construis, je crée mon chemin tout seul. C’est surtout tellement beau ! J’ai longtemps dit à mon entourage (ou à mon coiffeur) que faire des maths ne s’explique pas, qu’il y a une magie et une naïveté qui nous emportent, on n’y peut rien. En rétrospective, je comprends maintenant que je fais jouer à plein mon ADN et qu’enchaîner des lignes de calcul noie mon cerveau de sérotonine et de dopamine : je contrôle mon environnement, je l’appréhende, je survis, mon cerveau me récompense. Il n’est d’ailleurs pas là question de rendre le monde meilleur ou de marquer de mon empreinte les futurs réseaux 4G. Tout cela, la

plupart des collègues en conviennent, est un alibi pour se faire plaisir. Pour le coup, notre ADN n’encode pas un quelconque besoin impérieux d’alimenter la société thermo-industrielle.

À partir de là, je suis sur des rails et tout va vite. On dit que la recherche est un enchaînement de petits hauts d’euphorie et de profonds bas de détresse. Pour moi ce n’est pas le cas, je surfe sur le haut des vagues, et si je plonge, je vais voir ailleurs. Mérouane me l’a appris : toujours repartir de zéro, les chercheurs s’engouffrent trop souvent dans des sillons tout tracés et vite obstrués. Je m’amuse, je crée, j’invente de nouveaux sujets, je décide même récemment de reprendre à zéro les travaux de *machine learning* vieux de 30 ans pour démontrer que beaucoup des algorithmes utilisés en routine sont en fait incorrects parce que basés sur des intuitions fausses. Ce sujet est le point culminant de mes travaux et le dernier de ma “recherche d’avant”. Le long du chemin, j’ai reçu des prix prestigieux et de gros financements, qui m’ont permis en retour d’en obtenir d’autres.² Je ne le comprenais pas mais j’alimentais là la machine inégalitaire d’un idéal libéral qui donne toujours plus à ceux qui ont déjà trop et creuse le gouffre de ceux qui n’ont rien.

2 Born to run

J’ai longtemps senti que je ne pouvais pas faire reposer ma vie sur le seul socle du travail. Les “bas” de la recherche peuvent à tout moment nous tirer vers le fond. Pour équilibrer la charge, je me passionne pour d’autres choses. J’ai repris la course à pied en sortie de thèse quand je me suis aperçu qu’en me montant sur le piédestal de la recherche en matrices aléatoires, Mérouane m’avait aussi rendu physiquement incapable de courir plus de 5min sans que mes poumons hurlent de douleur. Alors j’ai couru. De plus en plus loin, de plus en plus longtemps. Et,

2. Il est intéressant de remarquer que j’ai beaucoup gagné à “déconstruire” et recréer, ce qui en rétrospective est cohérent avec les idées de “convivialité de la connaissance” d’Illich [1] ou Stiegler [2, 3] dont on reparlera plus tard.

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

1. Le coup du sort en question est que Mérouane avait promis de produire un article “invité” sur le sujet pour une conférence et avait perdu le contact avec l’étudiant censé effectuer le travail : il m’appelle à la rescousse, j’ai deux semaines pour apprendre les matrices aléatoires et écrire un article sur le sujet un peu fou du débit théorique total qu’on obtiendrait si on couvrait la planète Terre d’antennes “comme un hérisson géant” (dixit Mérouane).

en bon scientifique, de plus en plus efficacement.

Ma femme m'a offert un jour un livre sur le *running*. Depuis j'en ai acheté exactement 22 autres qui m'ont emmené très loin.³ Comment l'évolution a-t-elle permis au 3e chimpanzé que nous sommes, le seul bipède, glabre, fragile, lent et non arboricole, de survivre et prospérer? [5, 6] Très vraisemblablement grâce à un triptyque "capacités d'endurance" (pour chasser à l'épuisement), "cerveau" (organe énergivore alimenté par un régime partiellement carné) et "entraide" (par le développement d'un lobe préfrontal permettant collaboration, langage, abstraction, et l'invention d'imaginaires de sociétés et de règles de vie). Pour moi, c'est une deuxième révélation, celle-ci d'ordre bien plus naturel. Je me passionne pour le sujet : comment notre corps métabolise notre alimentation pour optimiser sa production énergétique [6, 7, 8],⁴ comment fonctionne ce merveilleux mécanisme osmotique qui nous maintient en vie en luttant contre la deuxième loi de la thermodynamique (ce que certains appellent aujourd'hui "négentropie") [9], qu'est-ce qui physiologiquement nous rend heureux et quels processus neuropsychologiques agissent sur nos pensées et nos mécanismes de joie et de stress [6, 10], comment notre cerveau crée du sens [11], comment ces mécanismes physiologiques et sociaux ont construit et parfois détruit les civilisations humaines [12], etc.? En bon scientifique, je digère et je m'approprie méthodiquement toutes ces lectures. Mais j'apprends aussi à m'extraire de ma vision purement cartésienne, mécanistique. J'apprends à écouter mon corps, à lâcher prise, à viser des états de pleine conscience et de "flow" [13]. J'ai 38 ans, et, physiquement comme psychologiquement, j'ai rarement eu autant l'impression d'avoir 20 ans.

Sur la route de mes lectures, je découvre Scott Jurek [14], mon héros, ultra-trailer végétalien qui n'a eu de cesse d'explorer les limites de son corps et son cerveau [15]. Scott m'amène à reconsidérer profondément mon alimentation pour des raisons physiologiques, sanitaires et sportives initialement, mais très vite pour des raisons éthiques de "bien-être animal".⁵ Je découvre au passage que notre intestin compte 5 kilos de bactéries et de vers qui "*hi-jack*" en permanence notre cerveau via le système nerveux de notre intestin [16]; devenir vegan et drastiquement réduire sa consommation de sucres est alors incroyablement facile : affamez les espèces bactériennes qui réclament de la protéine animale et, très vite, le saucisson sec, mon péché mignon d'autant, gagne une odeur assez fétide. Parallèlement, je croise en chemin Christophe Brusset [17], Aymeric Caron [18] et les vidéos d'L214 [19] qui ouvrent en grand une fenêtre sur l'un des grands tabous de notre société : la remise en cause d'un modèle économique et industriel destructeur et mortifère

3. Une sélection choisie [4].

4. En particulier, comment un apport accru d'acides gras et de protéines accompagné d'un effort physique régulier et diversifié en intensités peut tripler le volume de notre cœur, quadrupler le nombre de mitochondries dans nos muscles squelettiques, améliorer le lien muscles-cerveau, améliorer drastiquement notre système immunitaire et, le plus important selon moi, avoir un impact crucial sur notre capacité à absorber les contraintes physiques et psychologiques du quotidien.

5. Je mets bien-être animal entre guillemets, on devrait plutôt parler de décence élémentaire d'Homo Sapiens envers les autres êtres vivants sensibles.

pour l'humanité et pour la planète.

Je lis encore plus, j'absorbe, je m'indigne... mais je n'ai pas le temps, mon obsession du moment étant d'avancer sur mon projet scientifique sur l'étude statistique des outils d'intelligence artificielle que je viens de monter à l'université de Grenoble. Ça me passionne toujours, j'y "crois" et j'ai envie d'aller plus loin.

3 Le "tipping point"

Finalement, j'obtiens un poste permanent à Grenoble. Je peux enfin lancer mon projet du développement d'une intelligence artificielle "soutenable" que j'ai mûri, qui a donné lieu à de premiers résultats très puissants,⁶ et dont je me suis convaincu ces deux dernières années de montage du projet. Mais ce trou d'air soudain a surtout pour conséquence de me renvoyer à mes lectures. Si Brusset, Caron et d'autres ont ouvert une brèche sur l'industrialisation de la souffrance animale et les dérives massives de l'alimentation mondiale,⁷ le choc brutal de la réalisation de la profonde dégradation de la planète et du vivant viendra de Servigne [20], Brown [22], Barrau [23], Jancovici [24], du rapport Meadows [26], etc.

Pour faire court, notre civilisation est au bord d'un effondrement total, qu'on ne pense essentiellement plus capables d'éviter. Notre activité industrielle de consommation intense et toujours croissante des ressources naturelles de la planète a d'ores et déjà provoqué le dépassement de plusieurs seuils de non-retour (réchauffement incontrôlé de la planète,⁸ extinction à un rythme jamais connu des espèces vivantes,⁹ érosion définitive des sols, salinisation de réserves aquifères fossiles, etc.). La situation alimentaire, hydrique et par conséquent politique, de nombreux pays (les états dits "défaillants") est extrêmement critique, et ce essentiellement du fait de quatre effets majeurs : érosion des sols et désertifications, épuisement des nappes phréatiques, montée du niveau des mers et océans, et occurrence accrue et s'intensifiant d'événements climatiques destructeurs majeurs. Les populations de ces états déstabilisent les régimes locaux et sont poussées à l'exode, réduisant d'autant les territoires habitables et augmentant drastiquement les tensions géopolitiques et la compétition pour les ressources.

De nombreuses vidéos et très bons documentaires rendus facilement disponibles aujourd'hui donnent une image concrète et terrifiante de la situation. Il faut néanmoins les visionner afin de *prendre conscience* [27]. Et, comme le suggère le titre d'un récent documentaire, "une fois qu'on sait" il n'est plus possible de fermer les yeux. Il faut arrêter, il faut que j'agisse.

6. On peut gagner des facteurs 100 dans des conditions raisonnables sur la consommation d'algorithmes utilisés massivement par la communauté.

7. Rappelons qu'environ 400 milliards d'animaux sont abattus par an pour notre consommation : c'est l'équivalent chaque jour d'un génocide de la population humaine de tout le continent américain. La masse des hommes et de leurs animaux représente 96% des mammifères (pour 4% d'espèces sauvages).

8. Un réchauffement 100× supérieur à la normale (+1,1°C entre 1910 et 2010), et 10× supérieur au taux de réchauffement de la dernière déglaciation.

9. Ce rythme est estimé entre 10 et 100 fois plus rapide que l'extinction du Crétacé qui a marqué l'extinction des dinosaures.

4 La convivialité comme objectif

Mais comment ? Si on résume le ressenti des nombreux étudiants, collègues et même associations d’acteurs sociaux que j’ai rencontrés ces derniers mois, le constat est assez simple : nous savons que le monde va mal, que rien n’est fait (en particulier l’université et les écoles adaptent bien trop timidement leurs programmes [25]), que nous sommes au bord d’un chaos plus ou moins bien défini, mais que faire ?, par où commencer ?

Le premier niveau de réponse est assez simple, formalisé rigoureusement dans le rapport Meadows [26], de manière plus pragmatique par le Plan B [22], le GIEC [28], le Shift Project [29], le Drawdown Project [30], NégaWatt [31], etc., et sous un regard plus philosophique par Barrau [23] ou Servigne [21] : l’imaginaire de l’augmentation du bien-être et du bonheur par le biais de la croissance économique *matérielle* souffre d’une erreur conceptuelle qui jusqu’alors entraîne notre perte. Meadows, le GIEC ou le Shift Project s’accordent tous : un repli économique marqué, à hauteur de 5-7%/an pendant 30 ans, résultant donc en une division par 5 de nos flux globaux d’ici 2050¹⁰ est une condition *sine qua non* pour espérer infléchir les effets de l’effondrement. Il ne s’agit donc pas simplement de “décarboner notre énergie” ou de nous lancer dans une “croissance économique verte”. L’enjeu est plus fondamentalement de reconstruire un système complet de valeurs. Cette axiologie nouvelle remet la nature, le travail métabolique humain et l’entraide au centre du système, et doit se débarrasser progressivement de notre forte dépendance matérielle aux machines, aux énergies et aux ressources minérales. Un des points clés est que toute activité productive industrielle *actuelle* produit des déchets (CO₂, pollutions variées) et des atteintes à la nature trop intenses et rapides pour être réabsorbés, entraînant alors des boucles de rétroaction positives.¹¹ Aucune technologie “miracle” ne risque de nous sauver et il devient très risqué de s’accrocher à cet espoir. Il faut changer d’approche, par exemple en développant une *économie symbiotique* [32] basée sur l’utilisation des mécanismes *reproductifs* (et non pas juste “productifs”) de la nature (permaculture, absorption naturelle des polluants, production matérielle “gratuite” par photosynthèse), mais aussi en substituant aux énergies fossiles de l’énergie métabolique. On aborde alors ici aussi un tabou : la transition doit passer par une réduction marquée des métiers du secondaire et tertiaire au profit d’activités manuelles.¹²

Ce constat est scientifiquement implacable. Mais il dérange. En tant que scientifique, ingénieur, chercheur, il appelle une profonde remise en cause de mon métier : mes belles matrices aléatoires ne sont rien sans ordinateur (et donc sans métal précieux, eau et énergie fossile) et alimentent surtout le fonction-

nement de machines (smartphones, stations de base telecom) dont l’usage primaire n’a pas vocation à réparer la planète. Oui j’étudie des solutions techniques moins coûteuses, j’améliore la métrique “kWh/octet transmis”, mais c’est toujours la même histoire : très vite viendra ce satané effet rebond [34] qui veut que si la nouvelle génération d’écrans LCD consomme deux fois moins d’énergie que la précédente, nous serons bien vite incités à acheter un écran plus grand (avant que celui devenu soudain “petit” ne cesse de fonctionner) et les gares SNCF s’offriront plein d’écrans pour se “moderniser”. Aucun levier ne fonctionne si le système ne change pas. Je dois arrêter tout ça.

Dans mon *deuil* [35] du monde industriel, comme beaucoup j’ai passé l’étape du *déni* (ce “non, le monde ne s’effondre pas vraiment, ce n’est qu’une crise”). Grâce à la sérénité que m’apporte la course à pied je pense ne pas m’être attardé dans l’étape de la *colère* (“ce n’est pas moi, ce sont les autres qui font vraiment n’importe quoi”) et mes lectures m’ont aussi très vite fait quitter l’étape du *marchandage* (“OK, ça va mal mais la jeune génération inventera la technologie qui nous sauvera”). On arrive malheureusement alors dans l’étape de la *dépression* ou du moins de la perte de repères, de l’immobilisme devant l’ampleur de la tâche et la futilité supposée de la portée de nos actions. Je vois aujourd’hui que de nombreux collègues et étudiants sont noyés sous ce fardeau et vivent de fait en pleine *dissonance cognitive* et de fait en pleine *solastalgie* [36] à poursuivre jour après jour un métier qu’ils savent destructeur.

Surtout, l’idée d’abandonner notre imaginaire “industriel” de valeurs nous plonge dans l’inconnue totale, dans la quête illusoire de cet idéal poétique prôné par Barrau [23] qui n’existerait pas, ou alors dans le monde des licornes et des gentils lutins ? C’est Ivan Illich, peut-être bien mon deuxième héros, qui me sort de l’angoisse du vide [38]. Illich m’offre une métrique qu’il nomme *convivialité* et qu’il définit comme la ligne rouge qu’aucun “outil” de civilisation ne doit dépasser. Illich vit en 1970 et démontre de manière chirurgicale, et pourtant sans aucun chiffre ni équation, que nos plus importants outils (nos voitures, système de santé, école, mais plus encore notre “science”) sont tous devenus *non conviviaux* [1]. Un outil est convivial s’il grandit l’homme, ne crée pas de dépendance (l’outil reste un moyen, pas une fin) et ne crée pas d’inégalité d’accès ou d’usage. En ce sens le vélo est fortement convivial : il agrandit notre horizon, reste peu cher et non polluant [37].

Le propos d’Illich sur la *non-convivialité de la science* est édifiant mais limpide. Nous avons créé un système fortement inégalitaire de partage du savoir, concentré dans des niches sur-spécialisées, et organisé autour d’outils entièrement dépendants d’une énergie colossale et de machines destructrices. Nous dépossédons la population (à commencer par nous-mêmes) des savoirs et savoir-faire qui nous permettaient jadis d’être résilients aux soubresauts de l’environnement. Pour faire simple et cru, le prochain pic pétrolier¹³ peut nous plonger en quelques jours dans le chaos : seuls, nous ne savons plus nous nourrir, nous soigner, fabriquer un toit, et nous ne pratiquons plus l’en-

10. En gros, 5× moins d’usage d’énergie, 5× moins d’extraction de ressources, 5× moins de biens (et services numériques) de consommation.

11. Il est intéressant de noter que si le prix de l’exploitation industrielle des ressources de la planète (le prix d’1L d’essence ou d’1kg de viande par exemple) incluait le coût des externalités et ignorait les mécanismes de subventions, l’énergie deviendrait instantanément une denrée précieuse.

12. La question des tabous et notamment celui de la *violence* est épineuse mais doit être adressée pour espérer un changement structurel cohérent [33].

13. Qu’on imagine proche au taux actuel d’épuisement des ressources [39].

traide.¹⁴ Grothendieck, médaille Fields 1966, est radical : il arrête toute recherche vers 1970 [40].

Sans aller si loin, Illich m'ouvre clairement la voie sur ce que je *dois* faire : créer de la résilience, œuvrer à rendre le monde convivial. Qu'est-ce que je sais faire aujourd'hui ? Je comprends et j'aime les sciences au sens large, j'aime les partager. Ma première mission est toute trouvée : je vais raconter ce que je comprends du système-Terre, de la vie, d'Homo Sapiens, du sens de l'existence, des mécanismes qui nous rendent heureux, et de la logique illichienne et spinoziste selon laquelle le monde n'est pas si compliqué, il est même enthousiasmant et que la situation critique de notre planète n'est qu'une simple conséquence de multiples dépassements de convivialité. Fini le néant, tout est clair, simple, je vais commencer par couler un socle sur lequel reconstruire : cet article est un bout du socle.

Je me met donc au travail. J'ai tenté une première réflexion sur l'hypothèse d'une IA conviviale [41] et ai créé mon premier séminaire [42] dans l'objectif de *partager le savoir*, de démontrer que la vie est simple et que l'objectif à atteindre est clair. Tout le monde étant concerné, mais à différents degrés de sensibilités (plus ou moins profond scientifiquement), j'ai raconté mon histoire dans des amphis à la fac et pour des associations citoyennes (comme FNE ou AgirAlternatif). J'ai aussi décidé de communiquer auprès de mes collègues lorsque je suis invité à parler de matrices aléatoires. Il serait malhonnête d'utiliser mon temps pour parler *monde d'après*, alors je divise mon discours en deux : le *business as usual* de la grande matrice d'une part et pourquoi je n'y crois plus ensuite. À quelques exceptions près,¹⁵ le discours est bien perçu, il libère la parole, mais par contre il exacerbe les "qu'est-ce que je peux faire concrètement monsieur ?" Back to square one ? Pas vraiment.

Pour moi l'étape suivante est la mobilisation d'outils conviviaux au sens large. Le plus fondamental selon Illich est de recréer un savoir et un savoir-faire commun et résilient. J'ai donc créé un autre séminaire "comprendre, dimensionner, engager" [43] qui introduit à la fois les pistes explorées dans la littérature, débat des angles d'attaque les plus bénéfiques et porteurs d'espoir, mais aussi des outils concrets pour appréhender les alternatives, véhiculer soi-même les messages (ordres de grandeur, esprit critique, psychologie des heuristiques, écueils et green-washing, etc.) et agir au quotidien.

En parallèle, j'ai recruté un excellent stagiaire, pour la première fois sur la base des dernières lignes du CV (sur ses initiatives constructives pour l'environnement). Ensemble nous créons des contenus de cours et TPs sur les outils de résilience. J'ai aussi développé un axe "IA soutenable" au sein du projet MIAI grenoblois [44] et ai proposé un projet de plateforme transdisciplinaire "Science & Résilience". Les deux projets suscitent tout à la fois une puissante vague d'enthousiasme mais également de violentes levées de boucliers que je pense liées à

14. Rappelons que 20 des 60 millions de victimes de la 2nde Guerre Mondiale ont péri de famine dans les villes. 75 ans de technologies de confort plus tard, nous pouvons nous attendre au pire.

15. Comme hier pendant mon discours de remise du prix Glavieux où un collègue secouait la tête d'un regard méprisant, l'air de me dire "pauvre idiot".

une angoisse d'affronter activement la réalité.

5 Un changement enthousiaste, en vue de GRETSI 2023 ?

Je suis donc sorti pour de bon, je crois, de l'étape de *dépression* de mon deuil du monde industriel. La dernière étape est celle de la *résilience* et de la *mise en action*. Paradoxalement, je vis cette étape de manière extrêmement positive.¹⁶

Petit, j'étais le binoclard abonné à *Science & Vie*, amoureux profond des mathématiques mais aussi de la biologie, de l'histoire des civilisations, et de toute autre forme de compréhension de mon monde. Comme Illich l'explique de manière si élégante, l'école m'a progressivement dépossédé de ma candeur pour me propulser au sommet d'une tour d'ivoire faite de grandes matrices aléatoires, et ce pour la pérennité du monde des machines. Aussi étonnant que cela puisse paraître, je trouve aujourd'hui un enthousiasme formidable à lire et à me reconnecter à ces univers de mon enfance auxquels la société ne me donnait plus le droit. Plus choquant encore, comme pour ma flore intestinale profondément modifiée, j'ai l'impression que l'odeur de la recherche technologique de pointe m'incommode de plus en plus. L'ordinateur quantique et ses promesses d'impacts merveilleux dans la guerre cybernétique moderne sont devenus le saucisson sec fétide de mon monde scientifique.

Une fois passé le *syndrome de l'imposteur* [45] ("ai-je vraiment le droit de travailler sur ce sujet, je ne suis ni climatologue ni expert des effondrements ?"),¹⁷ cette idée d'œuvrer à la reconstruction d'un monde "naturel" en phase avec notre ADN est extrêmement stimulant. Cela me reconnecte profondément avec cette logique perdue d'un monde fait d'entraide, de nature, de simplicité. En clair, ce monde précis qui nous fait sécréter sérotonine (sens, contrôle), endorphine (relation corps-cerveau), ocytocine (lien social) et dopamine (récompense). [6]

Et la recherche en traitement du signal dans tout ça ? Pour moi, c'est une opportunité unique pour la discipline de retrouver ses lettres de noblesse, récemment vidées par l'aspirateur de l'intelligence artificielle. J'ai déjà le résumé pour GRETSI 2023. *Dans cet article, nous exposons la conception d'un bassin de culture de spiruline alimenté par une éolienne en bois entièrement constructible manuellement. Les constantes physiques sont suivies en temps réel par un réseau de capteurs attaché à un contrôleur Raspberry-Pi. Cette technologie low-tech fournit les apports protéiniques et en fer quotidiens de 10 personnes. Son coût carbone total est négligeable, et son bilan énergétique de 8kWh/jour sans aucune perte d'énergie émise, ainsi nettement supérieur aux 50kWh nécessaires pour produire 8kWh d'équivalent en protéines bovines...*

Pourquoi pas ?

16. Soyons honnête, parfois cependant entremêlée de retours de bâtons violents lorsque me prend l'idée d'allumer la télévision.

17. On dépasse le problème ainsi : personne n'est expert du monde post-industriel et c'est un domaine qui manque cruellement de main d'œuvre !

Références

- [1] Illich, I., Giard, L., & Bardet, V. (1973). *La convivialité*. Paris : Editions du Seuil.
- [2] Stiegler B. (2009). *Pour une nouvelle critique de l'économie politique*. Galilée.
- [3] Beinsteiner, A. (2020). Conviviality, the Internet, and AI. Ivan Illich, Bernard Stiegler, and the Question Concerning Information-technological Self-limitation. *Open Cultural Studies*, 4(1), 131-142.
- [4] Parmi les *must read* :
- McDougall, C. (2010). *Born to run : The hidden tribe, the ultra-runners, and the greatest race the world has never seen*. Profile Books.
 - le roman en 3 tomes débutant par Parker, J. L. (2009). *Once a Runner : A Novel*. Simon and Schuster.
 - Heinrich, B. (2009). *Why we run : A natural history*. Harper Collins.
 - et pour une approche méthodique d'une technique douce et épanouie de la course à pied : Dreyer, D., & Dreyer, K. (2008). *Chi running*. Simon and Schuster.
- [5] Diamond, J. (2013). *The rise and fall of the third chimpanzee : how our animal heritage affects the way we live*. Random House.
- [6] Lieberman, D. (2014). *The story of the human body : evolution, health, and disease*. Vintage.
- [7] Noakes, T. (2003). *Lore of running*. Human Kinetics.
- [8] Taubes, G. (2007). *Good calories, bad calories*. Anchor.
- [9] Pross, A. (2016). *What is life ? : How chemistry becomes biology*. Oxford University Press.
- [10] Gilbert, D. (2009). *Stumbling on happiness*. Vintage Canada.
- [11] Sébastien, B. (2020). *Où est le sens*.
- [12] Diamond, J. (2011). *Collapse : How societies choose to fail or succeed*. Penguin.
- [13] Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow : The psychology of optimal experience* (Vol. 1990). New York : Harper & Row.
- [14] Jurek, S., & Friedman, S. (2012). *Eat and run : my unlikely journey to ultramarathon greatness*. Houghton Mifflin Harcourt.
- [15] Jurek S., & Jurek J., (2018). *North : Finding My Way While Running the Appalachian Trail*. Little, Brown Spark.
- [16] Enders, G. (2018). *Gut : The Inside Story of Our Body's Most Underrated Organ* (Revised Edition). Greystone Books Ltd.
- [17] Brusset, C. (2018). *Et maintenant, on mange quoi ?*. Flammarion.
- [18] Caron, A. (2013). *No steak*. Fayard.
- [19] Del Amo, J. B. (2017). *L214 Une voix pour les animaux*. Arthaud.
- [20] Servigne, P., & Stevens, R. (2015). *Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes : Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*. Média Diffusion.
- [21] Servigne, P., & Chapelle, G. (2017). *L'entraide : l'autre loi de la jungle*. Éditions les Liens qui libèrent.
- [22] Brown, L. R. (2011). *Basculement : Comment éviter l'effondrement économique et environnemental*. Éditions Rue de l'échiquier.
- [23] Barrau, A. (2019). *Le plus grand défi de l'histoire de l'humanité-Face à la catastrophe écologique et sociale*. Michel Lafon.
- [24] Jancovici, J. M. (2015). *Dormez tranquilles jusqu'en 2100 : Et autres malentendus sur le climat et l'énergie*. Odile Jacob.
- [25] Voir le film-documentaire "Ruptures" mis en place par les élèves diplômés de grandes écoles. <https://www.ruptures-le-film.fr/>
- [26] Meadows, D., & Randers, J. (2012). *The limits to growth : the 30-year update*. Routledge.
- [27] Quelques exemples récents : "Une fois que tu sais" (2020), "L'homme a mangé la terre" (2019), "Animal" (2021), "Demain" (2015), "Dossier tabou : la face noire des énergies vertes" (2021).
- [28] <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [29] <https://theshiftproject.org/>
- [30] <https://drawdown.org/>
- [31] <https://www.negawatt.org/>
- [32] Delannoy, I. (2017). *L'économie symbiotique : Régénérer la planète, l'économie, la société*. Éditions Actes Sud.
- [33] Dupré, D., Courtonne, J. Y., Fenet, S., & Mandil, G. (2021). *Le rôle particulier de la violence dans une "science des effondrements"*.
- [34] Voir par exemple : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe-lalettre-strategie-24.pdf>
- [35] Kübler-Ross, E., & Kessler, D. (2011). *Sur le chagrin et le deuil : trouver un sens à sa peine à travers les cinq étapes du deuil*. JC Lattès.
- [36] Voir par exemple cette étude du Monde sur l'éco-anxiété chez les jeunes : https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/09/14/climat-les-trois-quarts-des-jeunes-juvent-le-fu6094571_1652612.html
- [37] MacKay, D. (2008). *Sustainable Energy-without the hot air*. UIT cambridge.
- [38] Illich, I. (2004). *Œuvres complètes* (Tome 1 et Tome 2). Fayard.

- [39] <https://jancovici.com/transition-energetique/petrole/a-quand-le-pic-de-production-mondial-pour-le-petrole/>
- [40] Séminaire d'Alexandre Grothendieck au CERN en 1972 <https://www.inmysteriam.fr/documents-videos/enregistrements-audios/alexander-grothendieck-conference-au-cern-le-27-01-1972.html>
- [41] Couillet R., Trystram D., Amblard P.-O. (2021). L'intelligence artificielle peut-elle devenir un outil convivial? ou doit-on immédiatement arrêter toute recherche en IA?, Archipel 2022 : risques systémiques, trajectoires et leviers d'action. <http://polaris.imag.fr/romain.couillet/docs/articles/IAconviviale.pdf>
- [42] Couillet R., Reconquérir le savoir : qui sommes-nous, où allons-nous? De l'effondrement du vivant au renouveau symbolique (2021). http://polaris.imag.fr/romain.couillet/docs/courses/intro_ecologie/cours_update.sozi.html
- [43] Couillet R., Les outils de la résilience (2021). http://polaris.imag.fr/romain.couillet/docs/courses/intro_ecologie/thumbrule.sozi.html
- [44] Couillet R., Trystram D., Ménissier T. (2021). La partie immergée de l'IA-ceberg. The Conversation. <https://theconversation.com/apprentissage-profond-et-consommation-energetique-la-partie-immeree-de-lia-ceberg-172341>
- [45] Chassangre, K., & Callahan, S. (2016). Cessez de vous déprécier! : Se libérer du Syndrome de l'Imposteur. Dunod.

Annexe

Genèse et histoire de l'article

Comme évoqué dans la note de bas de page numérotée 15, cet article est né d'une réaction épidermique suite au sentiment d'impuissance que j'ai ressenti à la soirée de remise des prix de la SEE. Chaque récipiendaire pouvait prendre la parole quelques minutes suite à la remise de son prix. J'ai souhaité en profiter pour poser la question de l'avenir de nos disciplines et du virage que nous allons devoir inévitablement prendre pour être cohérents avec l'urgence et les enjeux environnementaux. Ce discours d'à peine cinq minutes aura donné lieu à des réactions variées, certaines extrêmement enthousiastes, mais d'autres – auxquelles je n'étais pas préparé – de dédain ou de mépris profonds. Au cocktail qui a suivi, beaucoup ont évité mon regard et tout fait pour ne pas échanger avec moi.

Ma conclusion a été sur le moment que ces cinq minutes où je demandais implicitement de mettre à terre des années, et mêmes des carrières entières, de recherche étaient vraisemblablement trop courtes et trop brutales pour susciter l'adhésion et l'ouverture du débat que j'attendais naïvement. J'ai donc couché une première version de ces lignes de minuit à deux heures du matin, sans trop réfléchir, pour que le texte soit spontané et conserve une subjectivité que j'estime que nous, chercheurs, ne nous permettons peut-être pas assez (quand on y songe, les rapports du GIEC annoncent assez clairement entre les lignes l'effondrement accéléré de notre civilisation mais sur un ton d'une froideur assez déconcertante et qui n'incite pas vraiment à la prise de conscience). Mon but n'était pas vraiment clair, j'avais surtout besoin d'écrire et envie de raconter, en tant qu'être humain avant tout, ma propre progression de mon état d'aveuglement techno-optimiste à ma position actuelle sur la question de l'anthropocène.

J'ai longtemps hésité à soumettre l'article, de peur qu'il soit mal compris, de peur qu'il soit lui aussi considéré comme condescendant. Ce sera finalement mon collègue Stéphane Mallat, bien malgré lui en fait, qui me décidera à publier le texte. Un jour où j'avais été invité à donner une présentation de mes travaux en matrices aléatoires pour l'intelligence artificielle, j'ai décidé – comme je l'explique plus haut dans le texte – de parler de mes travaux pendant la première moitié de l'exposé avant ensuite de prendre du recul et de poser la question de la pertinence de ces résultats, de ces efforts et du temps que nous y consacrons devant l'imminence d'un effondrement probable de toute notre société. Les retours (sur une présentation plus longue, plus douce) étaient bien plus chaleureux cette fois et ont donné lieu à beaucoup de discussions pendant la pause café. Et j'ai retenu que Stéphane Mallat m'a dit alors avoir été saisi, non pas par le contenu du discours lui-même (parce que finalement, au moins dans les grandes lignes, "tout le monde sait"), mais par le simple fait que je prenne la décision et même le risque de le porter et de le partager. Le message réel de la présentation aura donc peut-être été effectivement de créer un précédent et de donner aux collègues de ma discipline un "droit" d'entrevoir un autre récit possible pour leur propre cheminement.

J'espère que le présent article contribuera lui aussi à donner le droit à certains de créer une autre histoire, tout aussi excitante, pour leur recherche et leur carrière.

Suppléments techniques

Certains points évoqués au cours de l'article méritent quelques précisions techniques que nous proposons ici.

“un repli économique marqué, à hauteur de 5-7%/an pendant 30 ans”

Cette affirmation provient tout d'abord d'un calcul du GIEC selon lequel une augmentation de la température terrestre moyenne inférieure à 2°C par rapport à la période pré-industrielle ne peut être *certainement* garantie (confiance = 66%) que si moins de 1000 giga-tonnes de CO₂ sont émises à l'avenir (c'est donc une réserve absolue à ne pas dépasser). En partant aujourd'hui de 40 giga-tonnes émises annuellement sur Terre (si on ajoute les émissions des autres gaz tels que le méthane, on atteint en fait 60 Gt équivalent CO₂), un simple calcul d'intégration d'exponentielle permet alors d'affirmer qu'une réduction de 5 à 7% par an des émissions de CO₂ est nécessaire *si nous commençons en 2018*. Ce chiffre de 5 à 7%/an augmente cependant très vite si, comme nous semblons malheureusement nous y diriger, le début du repli des émissions a lieu plus tard ou si est pris en compte un temps de bascule. Étant donnés ces deux aspects, une très mauvaise nouvelle est qu'en étant réaliste, nous nous dirigeons plutôt vers une exigence de diminution de 10%/an des émissions nécessaire dans 5 ans et les années à venir. Ce qui correspond à une division par 2 des émissions tous les 7 ans. En guise de comparaison, la France est parvenue à une division par 2 de ses émissions de CO₂ en 40 ans grâce à un énorme effort de conversion au nucléaire. Il paraît difficilement envisageable que l'ensemble des états du monde parviennent à s'imposer de telles contraintes.

Le lien entre émissions de CO₂ et production industrielle (et donc croissance économique) est quasi immédiat. L'activité économique mondiale repose à 85% sur les ressources d'énergies fossiles contre 15% sur le nucléaire et les énergies de flux (énergies

renouvelables ou énergie métabolique¹⁸), une répartition qui n'a absolument pas évolué entre 1990 et 2020, et ce en dépit de l'augmentation notable de la quantité d'installations renouvelables [2] : la cause en est l'augmentation de 60% de la demande (et donc de la production) sur ces 30 années. Même avec un effort conséquent, du fait de cette tendance, il est difficilement envisageable de changer le mix énergétique de manière drastique en quelques années. À défaut, on en conclut alors que la réduction annuelle de 5 à 7% de la consommation d'énergie fossile implique une réduction économique de même intensité.

Certains scénarios d'une augmentation marquée de la part du renouvelable ont malgré tout été envisagés. L'association Négawatt [3] imagine un passage au tout-renouvelable en France d'ici à 2050 au moyen d'un scénario de repli de la consommation de 66% (division par trois de la demande énergétique), au moyen de nombreux changements structurels de la société. Ces chiffres sont légèrement plus optimistes qu'un repli économique de 5%/an qui amènerait à une division par 5 de la consommation en 2050. Les chercheurs du projet Drawdown [4] quant à eux tablent sur la possibilité de faire passer la production d'électricité éolienne de 3% à 20% du mix électrique (mais l'électricité ne représente aujourd'hui que 20% du mix énergétique mondial) : ils classent cette première solution liée à l'énergie seulement 6e parmi les 200 idées au potentiel fort de réduction des émissions effectives de CO₂ entre 2020 et 2050 (loin derrière la réduction du gaspillage alimentaire, une alimentation mondiale végétale, ou encore l'éducation des filles et une politique de planning familial).

“c'est toujours la même histoire : très vite viendra ce satané effet rebond”

En tant qu'acteurs du domaine des TIC (technologies de l'information et des communications), il est pertinent de se poser sur la question des effets rebonds inhérents à nos travaux et aux technologies que nous développons.

Rappelons tout d'abord, comme précisé dans le paragraphe ci-dessus, qu'un engagement fort doit être pris (et effectivement a été pris au niveau des états suite aux accords de Paris à l'issue de la COP21) par l'ensemble des acteurs économiques d'une réduction marquée de leur consommation énergétique. Cette consommation énergétique ne saurait être complète que si elle prend en compte, non seulement l'activité productive elle-même (la fabrication effective d'appareils ou de logiciels par exemple), mais également l'ensemble des externalités, à commencer par le coût énergétique de l'extraction des ressources, mais aussi les coûts de compensation et de réparation des conséquences écologiques. À ce titre, on compte notamment les conséquences du non-recyclage de 83% des métaux des technologies numériques en fin de vie mais aussi les conséquences écologiques et humaines de l'extraction de matières premières (voir par exemple sur ces deux sujets l'éloquent reportage sur l'envers du décor des énergies renouvelables [5]). Par ailleurs, et c'est ici l'objet de ce paragraphe, il s'agit également d'anticiper les conséquences en terme d'effet rebond de chaque innovation technique ou technologique produite.

Le rapport “Lean-ICT” du Shift Project [6], co-signé par nombre de nos collègues, est particulièrement marquant de ce point de vue. Tout d'abord, le rapport rappelle factuellement que l'empreinte énergétique mondiale des produits des TIC augmente à la vitesse explosive de 9%/an, de sorte qu'il est anticipé que sa part dans la consommation énergétique mondiale passera très vite d'un peu moins de 4% actuellement à 8% en 2030. Ce secteur (notre secteur d'activité donc) est l'un des plus gourmands énergétiquement et certainement celui le plus en opposition de phase avec l'exigence d'une sobriété énergétique mondiale (le secteur devrait décroître de -5% par an au lieu de croître de +9%). Cette croissance est d'autant plus grave que la dérive économique associée s'ancre dans la création d'une dépendance de la population, et de la plupart des secteurs d'activités publiques, à ces technologies.

La question des effets rebond dans les TIC est particulièrement tabou. On entend en effet que la révolution numérique, aujourd'hui accompagnée par des investissements massifs en intelligence artificielle, permet d'améliorer de manière significative l'efficacité de nos outils du quotidien (en particulier grâce à la multiplication des capteurs d'IoT). Le rapport “Lean-ICT” pointe cependant (page 11) que sur une étude menée sur 57 applications distinctes transformées par le numérique, absolument aucune n'a gagné en efficacité. Il en vient que l'adoption d'outils “modernes” des TIC, quand bien même permettant une réduction locale des coûts, se traduit visiblement en bout de chaîne par une augmentation de la dépense énergétique. Par ailleurs, le rapport rappelle que, si on exclut le coût du recyclage qu'il est difficile d'évaluer, entre 60% (pour une télévision) et 90% (pour un smartphone) de la production de CO₂ du cycle de vie de nos équipements électroniques est due à la fabrication du matériel (avant même qu'il ne soit acheté par l'utilisateur) et non à son usage (voir [8] pour une étude exhaustive menée par l'Ademe). L'IoT et ses promesses d'optimisation énergétique par la multiplication des capteurs connectés induit de fait un nécessaire effet rebond : si cet effet est supérieur à 100% (ce que semble suggérer le point précédent au propos des 57 applications testées), l'argument avancé de l'utilité de l'IoT dans une perspective de décarbonation de la société est incorrect. Un grave problème d'obsolescence (programmée ou non) se pose d'ailleurs : même si des efforts individuels sur l'achat différé de matériels sont menés, la plupart des équipements ne sont pas adaptables aux changements de normes et doivent dans tous les cas être changés. Autre problème, la miniaturisation des équipements et l'usage de métaux rares augmentent l'intensité énergétique requise pour la fabrication des composants (c'est ainsi qu'1g de smartphone coûte 80× plus d'énergie à produire qu'1g d'une voiture moderne [6, page 29]). Mais le coup de grâce

18. rappelons au passage que chaque citoyen français consomme quotidiennement l'énergie équivalente à 450× sa propre capacité métabolique (chacun d'entre nous vit donc avec 450 esclaves énergétiques [1])

sur l'IoT du rapport "Lean-ICT" vient en fait d'un dernier chiffre particulièrement inquiétant sur la croissance annuelle de 67% depuis 2014 du nombre d'achats d'appareils électroniques connectés par foyer (passant d'une moyenne de 10 appareils en 2012 à 50 en 2022).

Finissons cette section en disant deux mots sur le domaine de l'intelligence artificielle, qui nous intéresse en premier lieu en tant que chercheurs en traitement du signal en 2022. L'IA, depuis les succès impressionnants des réseaux de neurones profonds en 2012, a très vite été idéalisée comme *la* solution permettant d'inoculer de l'intelligence dans tous les domaines d'activités, à commencer par les plus consommateurs en énergie : smart grids, smart cities, smart farming, industrie 4.0, etc. Mais, outre les nombreux problèmes éthiques qu'elle soulève, depuis peu de nombreuses voix s'élèvent pour signaler les dangers de l'IA, tout à la fois dans le domaine de la consommation énergétique et de l'impact carbone [9, 10, 11] mais aussi du fait de sa *non-convivialité* [13]. Il apparaît en effet qu'entraîner l'un des derniers réseaux de neurones de traitement naturel du langage coûte aujourd'hui l'équivalent de 500 tonnes équivalent CO₂ (en un mois sur environ 10 000 cœurs GPU en parallèle), soit 500 vols transatlantiques entre Paris et New-York (pour comparaison l'objectif de sobriété énergétique proposée par le Shift Project ramène de 11 tonnes actuellement à 2 tonnes équivalent CO₂/an la part autorisée à chaque citoyen français en 2050). S'il ne s'agit que d'effectuer une dépense "une bonne fois pour toute" nécessaire à l'entraînement du réseau de neurones, cela serait potentiellement acceptable (si on considère que le service rendu mérite le sacrifice). Le problème se pose cependant de la multiplication des serveurs et matériels dédiés à l'entraînement d'un nombre croissant de tels réseaux, ainsi qu'à l'usage multiplié par centaines de millions (voire milliards) dans les appareils des utilisateurs. Cet effet rebond lié au développement de l'IA est particulièrement nocif et sujet aujourd'hui, comme pour la 5G, à des débats qu'on imagine devenir très vite houleux.

“reconstruire un monde ‘naturel’ en phase avec notre ADN”

Comme l'expliquent les auteurs dans [14], nos sociétés modernes se basent sur un ensemble de *tabous* qui forment un socle de postulats sur lequel peuvent se greffer lois et règles de vie. Cette approche constitue un danger de *non-résilience* face à un monde en profonde mutation et qui peut demander des changements structurels profonds.

L'idéal de la croissance économique est l'un de ces tabous des sociétés occidentales aujourd'hui. Il est établi par postulat que le bien-être individuel et collectif ne peut être assuré que par une *croissance économique et matérielle*. Envisager une décroissance économique, comme la situation actuelle l'exige, est en contradiction avec ce système de valeurs, à tel point que, contre toute évidence scientifique, absolument aucun candidat à l'élection présidentielle de 2022 n'ose proposer sa remise en cause.

Pourtant, si la société s'ancre dans l'imaginaire de la croissance économique comme gage de bien-être, la biologie de l'évolution [16], l'histoire de la planète et des hommes [15], ainsi que la neuropsychologie [17, 18, 19] et la philosophie [12, 21] nous disent tout l'inverse. Illich [12] nous explique notamment que la croissance matérielle, passé un certain seuil, crée une si forte dépendance à l'outil que nous perdons nos capacités de contrôle de notre environnement. Le mésusage de la science au service des machines et au détriment du partage d'un savoir et d'un savoir-faire commun en est le plus grave dépassement. Stiegler modernise ce constat et va plus loin en invoquant un abrutissement de la population par la voie des médias privés, et ce à des fins commerciales. Ces considérations philosophiques sont fortement sous-tendues par la biologie de l'évolution qui confirme qu'Homo Sapiens a évolué de sa branche originelle en se différenciant par sa capacité à maîtriser son environnement et à créer des communautés d'individus étendues grâce au langage et à une habileté d'abstraction lui permettant de "créer des imaginaires" (d'où sont issues les religions, la notion d'états structurés complexes, les règles de vie en communauté, etc.). Le besoin d'apprendre et de partager un savoir commun est donc codé en dur dans notre ADN. La neuropsychologie et la neurologie le confirment tous les jours au fil des découvertes reliant physiologie (notre système hormonal notamment) et rôles de nos aires cérébrales (tel que le cortex singulaire antérieur dont on sait depuis peu qu'il est l'aire du "sens" [17]).

Il est en particulier biologiquement exclu que les 200 dernières années aient eu un impact sur notre ADN (c'est à peine 10 générations d'Homo Sapiens qui par ailleurs grâce à la médecine n'ont été que marginalement sélectionnés génétiquement). Il en vient que l'imaginaire du *bien-être consumériste* n'est qu'un imaginaire, ou au mieux un détournement de nos instincts génétiques. Vraisemblablement, c'est le détournement de notre besoin de domination dont il s'agit ici : dans une société où la supériorité physique ou intellectuelle ne fait plus loi, la place est laissée libre à un nouveau besoin de possession matérielle. Le martèlement médiatique de ce besoin consumériste alimenté par un système tabou de valeurs capitalistes achève le travail. Le constat actuel est pourtant celui d'une société rongée par la perte de sens, les dépressions psychologiques, les troubles du sommeil, ainsi que par de nombreuses maladies dites de civilisations (qui n'existaient pas 200 ans en arrière) telles que cancers, diabète, troubles cardiovasculaires, troubles des apprentissages et hyperactivité (TDAH), diverses formes d'autismes, maladies neurodégénératives, etc., dont beaucoup sont reliées plus ou moins directement à un mode de vie en conflit avec les consignes de notre ADN (la plus grave atteinte étant la consommation à outrance de sucres raffinés et autres glucides non présents dans la nature [23], ainsi que la sédentarité [18]).

Par "reconstruire un monde 'naturel' en phase avec notre ADN", il faut donc comprendre ici reconstruire une axiologie (un système de valeurs) qui prône une croissance du bien-être naturel en lieu et place de la croissance économique. L'avantage de

s'imprégner collectivement de cet idéal est qu'il déconstruit automatiquement un ensemble d'acquis que nous considérons aujourd'hui comme irrévocables. Dès lors, se déplacer en vélo plutôt qu'en voiture n'est plus une contrainte mais la pratique naturelle d'une activité d'amélioration du bien-être physique; de la même manière, une marche en nature reconstruit ce lien viscéral que nous entretenons avec les éléments, là où le même temps passé devant la télévision nous en éloigne. De fait, la décroissance économique, aujourd'hui comprise comme une contrainte forte et que personne ne saurait souhaiter de gaité de cœur, devient une évidence dans l'idéal de croissance du bien-être individuel et collectif.

Évoqué ainsi, on pourrait imaginer nager dans l'utopie et, comme je le signalais plus haut, on a du mal à envisager qu'un gouvernement en vienne à reconsidérer sa ligne politique ainsi. C'est pourtant déjà le cas en Nouvelle-Zélande où la récente présidente de la république pose comme objectif premier pour son pays la "croissance du bien-être" [24]. La destination n'est donc peut-être pas si éloignée qu'on l'imagine.

“une opportunité unique pour la discipline de retrouver ses lettres de noblesse”

La limitation des quatre pages ne me permet pas de développer ce point ô combien fondamental de l'article. Après avoir mentionné que mon objectif était avant tout de fournir à mes étudiants des "outils" pour les engager à changer structurellement la société et à s'enthousiasmer à l'idée d'une renaissance axiologique, l'article gagnerait à s'achever sur une note concrète sur notre capacité en tant que chercheurs en traitement du signal à précisément agir nous-mêmes et fournir les outils en question à nos étudiants.

Sur cet aspect, il est intéressant d'observer, comme j'ai pu être amené à le faire, que nos étudiants sont pour beaucoup déjà fortement sensibilisés à la question du dérèglement climatique et que certains en savent plus que nous-mêmes (ce qui explique au passage la vague d'éco-anxiété actuelle [25]). De fait, plusieurs questions semblent devoir être adressées :

- l'information sur l'état de la planète est une nécessité mais, comme nous l'avons vu, ne saurait être suffisante aujourd'hui ; cette information seule plonge certains dans l'éco-anxiété lorsqu'aucun "service après vente" n'est assuré tandis que d'autres se protègent en dressant des barrières de déni, de colère ou de renoncement qui peuvent devenir de nouveaux obstacles. Les fresques du climat sont en ce sens un bon outil mais qu'il paraît indispensable d'accompagner sur le long cours.
- l'information seule est également dangereuse lorsqu'elle crée l'illusion d'un monde extrêmement complexe qui prend l'eau de toute part et sur lequel un adolescent (ou même un adulte) ne saurait avoir prise. Il me semble fondamental de déconstruire cette illusion de complexité pour rebâtir au contraire une compréhension élémentaire mais multi-spectrale (histoire, physique, biologie, psychologie) de la vie. Une finalité de cette reconstruction systémique du monde (d'où venons-nous ? qu'est-ce qui nous rend heureux ? comment notre civilisation en est arrivée à son état actuel ?) est d'aider à créer l'imaginaire d'un monde différent, plausible et enthousiasmant.
- vient alors la question du "comment". Ici, il s'agit tout d'abord de définir une métrique nouvelle permettant de mesurer la pertinence des outils et idées à mettre en place. La notion de *convivialité* au sens d'Illich est un point de départ concret et extrêmement clair. Nous devons aider nos étudiants, et nous-mêmes par la même occasion, à viser la convivialité dans nos inventions et notre vision du monde de demain. Pour l'enseignant-chercheur en traitement du signal, il s'agira en particulier d'être en mesure de mettre en place des technologies qui doivent maximiser trois contraintes :
 - (i) dépendre minimalement de nouvelles ressources matérielles et énergétiques : viser par exemple des algorithmes qui tournent obligatoirement sur un ordinateur portable (qu'il conviendra de ne pas changer), des technologies reposant majoritairement sur du matériel recyclable (comme le bois);
 - (ii) être maximalement durable et ne pas nécessiter une connaissance accrue pour l'entretien : on souhaite ici créer un maximum de partage des connaissances, l'humain n'est pas assujéti à son outil mais le maîtrise totalement, et n'entretient ainsi pas un lien dangereux de dépendance à son outil;
 - (iii) être *low-tech* et *low-cost*, en ce sens que l'outil doit être accessible à une majorité d'individus et ne pas être réservé à une élite qui, en possédant un avantage accru sur une majorité d'exclus, creuserait encore plus les inégalités sociales.

Très concrètement, si on prend honnêtement en compte le danger de continuer dans la voie du développement à 9%/an de l'apprentissage profond, de la 6G, de l'informatique quantique et bien d'autres sujets "à la mode", alors qu'un repli de 5-7%/an est nécessaire *dès aujourd'hui*, notre premier devoir est de progressivement mais de manière marquée sortir de ces sujets de recherche et d'enseignement pour transiter "en biseau" sur des sujets de résilience. Mais quels sujets exactement ?

La première question à se poser est celle des usages, à prioriser par ordre d'urgences. Se pose par exemple la question de la sécurité alimentaire par renforcement de pratiques et de partages de connaissances locales, afin de créer une autonomie de production (que de nombreux pays du sud ont perdue [26]) et une indépendance aux énergies fossiles et aux intrants technologiques. Une réponse apportée par le traitement du signal peut consister en l'automatisation et le suivi en temps réel par des capteurs et logiciels à la fois peu énergivores et compréhensibles par l'utilisateur. J'en ai donné un exemple illustratif dans le texte principal (la culture de spiruline étant vue comme un moyen efficace de générer des protéines à moindre coût pour les états alimentaires défaillants). La même approche peut se transposer à la santé. En l'occurrence, un exemple marquant existe qui démontre la

possibilité concrète d'utiliser des techniques de *machine learning* au cœur d'un processus permettant de créer l'outil ultime de la résilience : un arbre de décision *sur papier* (mais généré par les résultats d'un algorithme) utilisé avec succès pour diagnostiquer et soigner des enfants dans un dispensaire en Tanzanie [27]. De manière similaire, l'exemple de la transformation profonde de la ville de Portland, il y a quelques années au bord d'un chaos économique, au moyen de l'intégration intensive de végétaux au sein même de la ville afin de filtrer naturellement les eaux usées, de créer des microclimats réduisant localement la température de 10°C en été, etc., ouvre la voie vers l'utilisation intelligente de processus naturels et écologiquement plus vertueux que le concept techno-optimiste de "smart cities" [28]. Ces modèles de réussite vont très loin dans la résilience et ouvrent même la voie à un nouvel idéal : celui d'une économie *symbiotique* [29] (ou positive [30]) qui exploite fondamentalement la capacité de reproduction du monde végétal (au contraire de la capacité de production mais induisant une pollution en fin de vie des ressources minérales et fossiles).

La transition pour le traitement du signal peut ainsi s'opérer dans les directions, largement non exhaustives, suivantes : (i) développer des méthodes d'IA et de *machine learning* pour un usage ultime sans machine (ce qui demande de développer l'explicabilité des méthodes), (ii) investir dans le développement d'outils de traitement des données implémentables sur Arduino, Raspberry Pi ou sur du matériel existant, (iii) développer des mesures quantitatives de convivialité des outils, anticiper les effets rebond et prévenir l'obsolescence, (iv) questionner les usages et convertir les résultats d'analyses théoriques en *savoir pour l'humain* plutôt qu'en production d'équipements (comme par exemple dans la répartition efficace de l'énergie dans les bâtiments qui peut se passer de capteur et d'automatisation électrique si des règles de base sont connues et implémentées par les humains).

Le champ des possibles est vaste. Il appelle surtout à une refonte profonde de notre vision élitiste mais étriquée de l'expertise scientifique individuelle (comme par l'exemple l'expertise dans un champ mathématique exigeant) pour se transformer en une vision plus large et partagée des connaissances (ce qui demande plutôt d'ouvrir et entrelacer nos champs disciplinaires).

Références

- [1] Jancovici J.-M. (2005) Combien suis-je un esclavagiste? <https://jancovici.com/transition-energetique/1-energie-et-nous/combien-suis-je-un-esclavagiste/>
- [2] Mix énergétique mondial : infographie <https://www.planete-energies.com/fr/medias/infographies/le-mix-energetique-mondial-de-1990-2035>
- [3] <https://www.negawatt.org/>
- [4] <https://drawdown.org/>
- [5] De la Villardière B. (2021). Dossier Tabou : La Face Noire des Energies Vertes (reportage video).
- [6] 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.
- [7] Corea, F. (2017). Artificial intelligence and exponential technologies : Business models evolution and new investment opportunities. Springer.
- [8] Ademe (2018). Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement. <https://librairie.ademe.fr/cadic/1192/acv-biens-equipements-201809-rapport.pdf>
- [9] Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L. M., Rothchild, D., ... & Dean, J. (2021). Carbon emissions and large neural network training. arXiv preprint arXiv :2104.10350.
- [10] Thompson, N. C., Greenewald, K., Lee, K., & Manso, G. F. (2020). The computational limits of deep learning. arXiv preprint arXiv :2007.05558.
- [11] <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>
- [12] Illich, I. (2004). Œuvres complètes (Tome 1 et Tome 2). Fayard.
- [13] Beinsteiner, A. (2020). Conviviality, the Internet, and AI. Ivan Illich, Bernard Stiegler, and the Question Concerning Information-technological Self-limitation. *Open Cultural Studies*, 4(1), 131-142.
- [14] Dupré, D., Courtonne, J. Y., Fenet, S., & Mandil, G. (2021). Le rôle particulier de la violence dans une "science des effondrements".
- [15] Dartnell, L. (2019). *Origins : How the Earth shaped human history*. Random House.
- [16] Dawkins, R., & Davis, N. (2017). *The selfish gene*. Macat Library.
- [17] Sébastien, B. (2020). *Où est le sens*.

- [18] Lieberman, D. (2014). *The story of the human body : evolution, health, and disease*. Vintage.
- [19] Gilbert, D. (2009). *Stumbling on happiness*. Vintage Canada.
- [20] Illich, I., Giard, L., & Bardet, V. (1973). *La convivialité*. Paris : Editions du Seuil.
- [21] Stiegler B. (2009). *Pour une nouvelle critique de l'économie politique*. Galilée.
- [22] Diamond, J. (2011). *Collapse : How societies choose to fail or succeed*. Penguin.
- [23] Taubes, G. (2007). *Good calories, bad calories*. Anchor.
- [24] Le Monde (2019). Avec son "budget bien-être", la Nouvelle-Zélande "fait les choses différemment". https://www.lemonde.fr/international/article/2019/05/30/le-budget-bien-etre-de-la-nouvelle-zelande-promet-des-milliards-de-dollars-pour-les-plus-dens-5469483_3210.html
- [25] Le Monde (2021). Les 3/4 des jeunes jugent le futur inquiétant. https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/09/14/climat-les-trois-quarts-des-jeunes-jugent-le-futur-effrayant_6094571_1652612.html
- [26] Brown, L. R. (2011). *Basculement : Comment éviter l'effondrement économique et environnemental*. Éditions Rue de l'échiquier.
- [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=ni-I_AXepSs
- [28] Abbott, C. (2004). *Centers and edges : Reshaping downtown Portland. The Portland edge : Challenges and successes in growing communities*, 164-183.
- [29] Delannoy, I. (2017). *L'économie symbiotique : Régénérer la planète, l'économie, la société*. Éditions Actes Sud.
- [30] Sury, B., Kestemont, M. P., & Lejeune, C. *Positive Economy, its Concepts and Academic Integration*.