



HAL
open science

Informatique et durabilité, une difficile transposition didactique

Baptiste de Goër, Hersch Micha, Sophie Quinton

► **To cite this version:**

Baptiste de Goër, Hersch Micha, Sophie Quinton. Informatique et durabilité, une difficile transposition didactique. DidaSTIC 2024 - Colloque Didapro 10 sur la Didactique de l'informatique et des STIC, Jan 2024, Louvain-La-Neuve, Belgique. pp.23-32. hal-04482133

HAL Id: hal-04482133

<https://hal.science/hal-04482133>

Submitted on 28 Feb 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Informatique et durabilité, une difficile transposition didactique

Baptiste de Goer^{1,3}, Micha Hersch², and Sophie Quinton¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble, France

² Haute Ecole Pédagogique Vaud, 1007 Lausanne, Suisse

³ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, VERIMAG, F-38000 Grenoble, France

Résumé Dans le contexte actuel de changement climatique, une demande forte d'enseigner à l'école les enjeux de durabilité liés au numérique émerge de la société et des institutions. Or, la transposition didactique de ces sujets dans les cours d'informatique soulève un certain nombre de difficultés. Dans un premier temps, ce papier présente un aperçu des savoirs scientifiques sur la question et des pratiques d'enseignement académique associées, puis met en avant la difficile articulation entre l'informatique comme discipline scientifique et les questions de durabilité. Dans un second temps, inspirés de réflexions issues de l'éthique de la technologie, nous évoquons la possibilité de réancrer l'informatique dans le contexte économique, social, politique, mais également matériel, de son développement et de ses applications ; ce qui constituerait une évolution importante de l'informatique aussi bien au niveau scolaire qu'académique.

Keywords: Durabilité · Transposition didactique · Pratiques émergentes · Enseignement secondaire

1 Introduction

Alors que les effets du changement climatique se font sentir de plus en plus intensément [6], que la perte de la biodiversité se poursuit de façon alarmante [25] et que d'autres limites planétaires sont dépassées [36], une mobilisation des différents secteurs de la société, nécessaire pour inverser la tendance, se met en place. L'école, de par son rôle central dans le façonnement des valeurs, des savoirs et des comportements, est perçue comme un instrument important pour affronter ces défis, ce qui a mené à l'inclusion des questions de durabilité dans les programmes scolaires, sous la forme de l'éducation au développement durable [13]. Plus récemment, la question des enjeux environnementaux liés aux technologies numériques a également émergé dans une partie des programmes scolaires. La protection de la santé, du bien-être et de l'environnement est une préoccupation transversale de l'éducation au numérique, autant au niveau de l'Europe via son cadre de compétences numériques (*DigComp* [11]), qu'en France via son *Cadre de Référence des Compétences Numériques* (CRCN) [32]. Dans ce contexte, le monde francophone commence à voir émerger des travaux portant notamment

sur l'éducation à la sobriété numérique [15,5]. Cette préoccupation apparaît également dans les programmes disciplinaires, par exemple en Suisse francophone, où les programmes d'informatique du secondaire supérieur demandent de traiter des enjeux sociaux du numérique, dont la question de son impact environnemental. De même, cette problématique figure dans le programme d'informatique de la formation générale pour adultes du Québec, ainsi que dans les programmes de *Sciences Numériques et Technologie* (SNT) en France parmi les « impacts sur les pratiques humaines ».

Il existe ainsi une demande institutionnelle quant à l'intégration des enjeux de durabilité au sein des cours d'informatique, dont les enseignantes et enseignants, et plus largement la discipline scolaire elle-même, vont devoir se saisir. Y répondre soulève bien entendu des questions d'ordre didactique, le sujet à intégrer étant généralement perçu comme externe à l'informatique en tant que science. Dans cet article, nous évoquons quelques-unes des difficultés rencontrées et proposons comme sources d'inspiration pour y faire face des approches issues de l'enseignement supérieur.

2 Quelques enjeux de la transposition didactique

Dans sa conception classique [12], la didactique définit la *transposition didactique* comme le processus par lequel des savoirs et des pratiques d'enseignement académiques sont adaptés et transformés en savoirs et pratiques scolaires. Cette transposition a lieu deux fois : une fois dans le milieu extra-scolaire, par exemple dans le cadre de la rédaction des programmes et des manuels scolaires (transposition dite externe) ; puis une autre fois en classe par les enseignants et enseignantes (transposition dite interne). Si cette transposition didactique s'applique bien pour la science informatique, son application pour les questions de durabilité en lien avec le numérique est plus compliquée, et ce pour plusieurs raisons.

2.1 Des savoirs scientifiques non stabilisés

Une première difficulté relève du fait que les savoirs scientifiques autour des questions qui relient durabilité et numérique ne sont pas encore stabilisés (voir [38] pour un rapide aperçu de l'état actuel des connaissances, des inconnues et des controverses sur le sujet).

Ce manque de maturité des savoirs scientifiques s'explique tout d'abord par le fait que les travaux académiques sur les impacts environnementaux du numérique sont historiquement l'œuvre de communautés de recherche distinctes qui étudient des problématiques spécifiques [24]. Citons pour exemple l'*informatique environnementale*, qui cherche à accompagner la construction de politiques environnementales adéquates en se servant de la puissance de calcul des ordinateurs ; ou encore le *Green IT*, qui vise en particulier à améliorer l'efficacité énergétique du matériel informatique.

Or, une approche générale des enjeux de durabilité liés au numérique nécessiterait un vaste travail interdisciplinaire, qui touche à des domaines allant des *Sciences de la Vie et de la Terre* (SVT), nécessaires pour apporter une compréhension fine des enjeux de durabilité, jusqu'aux *Sciences and Technology Studies* (STS), qui mettent en lumière les liens complexes existant entre un outil technique comme le numérique, les sciences informatiques qui le sous-tendent, et la société qui le développe et s'en trouve transformée [10].

En effet, les enjeux de durabilité des outils numériques ne se limitent pas aux *effets directs*⁴ de ces derniers sur l'environnement, lesquels correspondent à l'*empreinte environnementale* des équipements numériques, généralement calculée à l'aide de l'*Analyse de Cycle de Vie* (ACV). Il faut également considérer les *effets indirects*, qui comprennent les changements induits par les applications de la technologie, d'une part dans les processus de production, et d'autre part dans les comportements des individus ; ainsi que les modifications structurelles de l'économie et de la société amenées par le numérique.

L'étude des effets directs du numérique est rendue difficile par le fait qu'une réalité matérielle complexe est couverte par la notion de « *numérique* ». Cette complexité résulte de l'omniprésence du numérique dans tous les secteurs économiques et sociaux, du caractère international de ses chaînes de conception, de production et de consommation, et de la rapidité de son évolution. Ainsi, si un certain consensus existe pour affirmer que les émissions de gaz à effet de serre liées au cycle de vie des équipements numériques représentent entre 1.5% et 4% du total des émissions globales d'origine humaine [9,20], l'évolution future de ces émissions reste controversée. En effet, certaines études estiment que les impacts globaux du secteur numérique suivent une tendance exponentielle, tandis que d'autres études argumentent qu'ils seraient en cours de stabilisation. Par ailleurs, la plupart des questions liées aux métaux, à l'eau, et aux pollutions restent ouvertes.

De leur côté, les effets indirects sont particulièrement difficiles à évaluer. En effet, la transition numérique bouleverse l'ensemble de notre système socio-économique sans qu'il soit possible de lui attribuer formellement et quantitativement la responsabilité des impacts environnementaux et sociaux qui en résultent. Les différents types d'effets rebond, c'est-à-dire l'augmentation des usages induite par des gains en efficacité imputables aux technologies numériques, en sont l'illustration la plus marquante.

Les enjeux de durabilité liés au numérique représentent donc un domaine de recherche interdisciplinaire émergent, où de nombreuses incertitudes et controverses demeurent sur la situation actuelle, sur les tendances futures, et sur les opportunités et les risques que le numérique représente pour l'avenir.

4. Nous utilisons ici, parmi les typologies existantes, le modèle *LES* [24] en faisant le lien entre cette classification et la terminologie couramment employée par ailleurs.

2.2 Des pratiques d'enseignement académiques en construction

La seconde difficulté provient du fait que les pratiques académiques intégrant les questions de durabilité à l'informatique sont encore en construction et que peu de personnes y ont déjà été exposées. Elles n'ont donc pas acquis un statut de référence auquel pourraient se raccrocher les acteurs et actrices de l'école, comme c'est le cas pour d'autres pratiques académiques telles que la programmation ou le développement des algorithmes. Cependant, un certain nombre d'enseignants et d'enseignantes en informatique intègrent déjà les impacts environnementaux du numérique dans leurs cours. Une vaste revue de littérature sur le sujet (que nous détaillons dans les paragraphes suivants) est compilée chez [35], tandis que [29] résume une partie des initiatives françaises. Les retours d'expérience analysés sont très variés.

Tout d'abord, les sujets traités ainsi que les organisations pédagogiques et les objectifs d'apprentissage diffèrent en fonction des cas. La revue de littérature distingue ainsi trois grandes catégories de sujets abordés : les sujets purement informatiques, les sujets uniquement liés à la durabilité (changement climatique, dimensions de la durabilité, éthique et impact social), et les sujets à l'interface entre les deux (ACV, Green IT, Green by IT). Elle identifie également des méthodes d'apprentissage variées (classiques, par le jeu, par la résolution de problèmes), et différentes manières d'aborder une discussion interdisciplinaire (groupes d'élèves de disciplines mixtes, interventions de spécialistes externes), auxquelles s'ajoutent une variété d'objectifs d'apprentissage disciplinaires (impact positif et négatif du numérique sur l'environnement) et transversaux (parmi lesquels la pensée systémique, l'esprit critique, la communication, et la créativité). Enfin, les cours étudiés diffèrent de par leur contexte (cursus avant tout centrés sur l'informatique ou sur la durabilité), mais également de par leur but éducatif (la formation des élèves ou leur émancipation).

Cette diversité dans les approches reflète en partie le caractère non stabilisé des savoirs concernant les enjeux de durabilité liés au numérique. En effet, les enseignements ne s'appuient pas sur la même définition de la durabilité, et mettent en avant des visions différentes de l'interaction entre informatique et durabilité : incrémentale (réduction des effets directs des systèmes numériques), permissive (capacité des systèmes numériques à être une solution aux enjeux de durabilité) et disruptive (remise en question des normes et pratiques de la technologie).

Notons que la revue de littérature met en avant le manque de recherche en didactique pour analyser et consolider ces initiatives locales.

2.3 Une articulation à penser entre informatique et durabilité

Une discipline académique est souvent présentée comme un ensemble cohérent de savoirs et de pratiques centrés autour d'objets et de phénomènes spécifiques traduisant une vision du monde [8], et portés par une communauté de personnes et d'institutions. L'informatique s'est construite historiquement en dehors de considérations environnementales, et les questions de durabilité sont largement perçues comme étant externes à cette discipline, comme l'illustre le

paysage de la recherche présenté dans la section 2.1. La question se pose alors de la manière de faire rentrer les enjeux de durabilité au sein de la discipline informatique, afin de proposer une articulation cohérente qui puisse être transposée en classe.

Face à cette difficulté, l'intégration prend souvent la forme d'une juxtaposition, où les problématiques de pollution numérique sont abordées sans rapport direct avec le reste du cours. Cette juxtaposition se retrouve dans divers programmes et manuels tels que Modulo en Suisse [37], ou les sections « Impact sur les pratiques humaines » du programme de SNT en France. Or, c'est en se mettant au service d'intérêts scientifiques, économiques et politiques que l'informatique exerce une grande partie de son pouvoir d'agir. Cette juxtaposition ne semble donc pas permettre une éducation à la durabilité qui saurait offrir des perspectives à la fois globales et complexes aux élèves [14].

Pour aller au-delà de la simple juxtaposition, il est tentant de proposer une articulation centrée sur les réponses que peut apporter l'informatique aux défis écologiques qui s'annoncent. Cela peut inclure par exemple la réduction des effets directs du numérique (approche *Green IT*) ou la contribution du numérique à une société décarbonée (approche *Green by IT*). Ces approches sont particulièrement attirantes de par la nature de l'informatique, une discipline orientée vers la résolution de problèmes. Elles ne peuvent toutefois pas être suffisantes, d'une part car le potentiel du numérique pour la durabilité est loin d'être évident [38] ; et d'autre part car il est probable que le récit de la technologie perçue comme uniquement pourvoyeuse de solutions s'en retrouve renforcé. En effet, la résolution de problèmes est particulièrement centrale dans les pratiques pédagogiques de l'informatique, ce qui illustre et participe certainement à cette essentialisation de l'informatique en tant que solution. Contribuer à ce récit entrerait en contradiction avec une partie des compétences attendues en durabilité par la Commission Européenne (par exemple la pensée critique et systémique, ou la capacité à envisager des avenir alternatifs) [16].

Cette discussion reflète les débats qui animent depuis quelques années le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche et s'illustre dans la diversité des enseignements proposés, comme indiqué dans la section 2.2. Ces débats mettent en lumière d'une part le caractère répandu de l'adhésion à la thèse de la neutralité de la technique, et d'autre part la difficulté qu'a l'informatique à se percevoir elle-même comme une source potentielle de problèmes.

Or, ces questionnements sur les valeurs portées (ou non) par l'informatique animent depuis déjà plusieurs décennies certaines communautés de recherche au niveau international. C'est le cas de la recherche à l'interface entre l'informatique et l'éthique de la technologie. Les réflexions autour de la manière d'intégrer l'éthique dans l'enseignement de l'informatique sont donc susceptibles de fournir des éléments utiles en vue d'une articulation entre informatique et durabilité.

3 S’inspirer de l’éthique de la technologie

Les réflexions portant sur l’intégration de l’éthique dans les formations en informatique existent depuis les années 70 aux États-Unis [33]. Avec le temps, les pratiques correspondantes ont évolué en une multitude de formes sous-tendant différents objectifs d’apprentissage [34], qui se traduisent par une variété de sujets traités [19]. Dans cette diversité, les directions prises par certaines approches récentes s’inspirant majoritairement des STS nous semblent intéressantes à mentionner, notamment celles se revendiquant de la justice sociale.

3.1 Une discipline qui s’inscrit dans un contexte

Les approches centrées sur la justice sociale partent du constat qu’a lieu une invisibilisation du contexte social et culturel au sein duquel la discipline informatique s’est développée [39,27,30].

Parmi les éléments contribuant à cette vision décontextualisée de l’informatique, on peut mentionner sa propension à se présenter comme neutre, uniquement technique et détachée de son identité disciplinaire, qui se traduit entre autre (comme évoqué dans la section 2.3) par une vision essentiellement positive de la technologie et la focalisation sur la résolution de problèmes de manière calculatoire. Or cette identité disciplinaire (et les valeurs qui la sous-tendent) entre en interaction, voire en contradiction, avec d’autres formes d’identité des élèves, notamment citoyennes. Cela a pour conséquence une difficulté pour l’informatique à inclure certaines minorités, et plus généralement à prendre en compte une diversité de points de vue et de valeurs.

Cette tendance est appuyée par le manque de mise en lumière de certains éléments de son histoire, tels que la place des femmes à ses débuts, et est maintenue par le manque de dialogue horizontal des informaticiens et informaticiennes avec d’une part la société civile, et d’autre part les nombreuses autres disciplines nécessaires à la compréhension des enjeux de société liés au numérique [27,39,31].

3.2 Quelques pistes de réflexion

À partir de ce constat, il n’est pas étonnant que les solutions proposées visent à réancrer la discipline informatique dans un contexte social. Certaines approches portent une attention particulière à l’intégration de minorités dans les classes d’informatique, lesquels rendent leurs cours plus inclusifs en travaillant main dans la main avec des personnes issues de différents milieux sociaux et culturels [26]. D’autres approches cherchent à visibiliser les enjeux de pouvoir en lien avec différentes technologies [39], ou à mettre en avant les problématiques sociales pouvant être reliées aux différentes notions d’informatique (par exemple autour du concept de *biais algorithmique*) [18,17,23]. Un certain nombre de plateformes en ligne proposent des contenus (en anglais) allant dans ce sens (par exemple [2,4,1]). Enfin, d’autres travaux cherchent à étendre l’étude des algorithmes à leurs applications sociales, élargissant ainsi le domaine de recherche de l’informatique [22,7].

Pour revenir aux enjeux environnementaux, la recontextualisation de l'informatique dans son contexte social paraît importante pour mieux comprendre les effets indirects du numérique sur l'environnement. Une piste complémentaire consisterait à rematérialiser l'informatique, par exemple en partant d'un objet physique tel qu'un ordinateur ou un téléphone portable et en examinant ses composants. Il est alors possible de remonter de manière approximative la chaîne de production de l'objet jusqu'à l'extraction des matières premières. Cela permet d'évoquer les ressources consommées, mais également les impacts environnementaux, sociaux et économiques de l'industrie minière et de celle des semi-conducteurs. Certaines ressources en ce sens commencent à être développées (p. ex [3]), mais leur intégration dans les cursus d'informatique n'est pas évidente, et le risque est de ne pas réussir à produire un lien cohérent avec l'informatique en tant que discipline. Une pédagogie qui s'affranchirait quelque peu de la résolution de problème et proposerait d'autres modes d'exercitation pourrait sans doute contribuer à une articulation plus cohérente entre informatique et durabilité. En ce sens, les sciences de l'éducation qui s'intéressent à l'enseignement des *Questions Socialement Vives*, avec des méthodes pédagogiques adaptées au travail sur des sujets controversés [28], pourraient s'avérer être un axe de recherche inspirant.

4 Conclusion

Ce bref survol des considérations et propositions issues de l'éthique de la technologie suggère qu'une piste intéressante pour aborder les enjeux de durabilité consiste à réancrer l'informatique dans les contextes de son développement et de son déploiement, notamment matériel. Cela passerait sans doute par la prise en considération des aspects économiques, politiques et sociaux qui orientent l'évolution et l'application de l'informatique ; mais également par le recours accru à l'interdisciplinarité et aux STS ; et pose donc la question de la formation du corps enseignant, généralement lui-même issu de formations mono-disciplinaires. Ainsi, l'urgence écologique met à mal le modèle classique descendant de la transposition didactique, à l'instar d'autres situations où la discipline scolaire a précédé la discipline académique [21]. Cela contraint les acteurs et actrices de l'enseignement secondaire, privés de savoirs et pratiques de références stabilisés, à expérimenter afin de proposer des enseignements pertinents en matière d'éducation à la durabilité en lien avec l'informatique. Parallèlement, le monde académique se saisit également à sa manière de ces enjeux, remettant en question certaines de ses pratiques de recherche et d'enseignement. Une collaboration entre les domaines de l'enseignement secondaire et universitaire aiderait certainement à converger vers des savoirs et pratiques scientifiquement fondés et socialement pertinents dans le but de faire émerger une nouvelle génération mieux à même de se saisir des enjeux de durabilité et d'affronter les défis présents et à venir.

Références

1. Do abstractions have politics ?, <https://kevinl.info/do-abstractions-have-politics/>, visité le 13 décembre 2023
2. EthicalCS, <https://ethicalcs.github.io/>, visité le 13 décembre 2023
3. Modulo - Cartographie du numérique, https://enseigner.modulo-info.ch/enjx2/activ/carto_numerique.html, visité le 20 octobre 2023
4. Responsible Computing, <https://www.internetruleslab.com/responsible-computing>, visité le 13 décembre 2023
5. Adopter une éducation à la sobriété numérique : Présentation du G'Tnum #ÆSON (2023), <https://edunumrech.hypotheses.org/8846>
6. Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., Huggel, C., Insarov, G., Morecroft, M., Mucicione, V., Prakash, A. : Cross-Chapter Paper 5 : Mountains, pp. 2273–2318. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA (2022). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.022.2273>
7. de Arruda Falcão, J.P., de Lemos Meira, S.R., Ramalho, G.L. : Algorithmic pragmatism : First steps. In : 2021 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS). pp. 1–8. IEEE (2021). <https://doi.org/10.1109/ISTAS52410.2021.9629190>
8. Astolfi, J.P. : La saveur des savoirs : disciplines et plaisir d'apprendre. ESF (2008). <https://doi.org/10.14375/NP.9782710126782>
9. Bieser, J.C., Hintemann, R., Hilty, L.M., Beucker, S. : A review of assessments of the greenhouse gas footprint and abatement potential of information and communication technology. *Environmental Impact Assessment Review* **99**, 107033 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107033>
10. Bonneuil, C. : Sciences, techniques et société (2013). <https://doi.org/10.3917/dec.bonne.2013.01>
11. Centre., E.C.J.R. : DigComp 2.2, The Digital Competence framework for citizens : with new examples of knowledge, skills and attitudes. Publications Office (2022). <https://doi.org/10.2760/490274>, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/490274>
12. Chevallard, Y. : Pourquoi la transposition didactique. *Actes du Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques de l'IMAG* pp. 167–194 (1982)
13. Considère, S., Tutiaux-Guillon, N. : L'éducation au développement durable : entre «éducation à» et disciplines scolaires. *Recherches en didactiques* **15**(1), 111–133 (2013). <https://doi.org/10.3917/rdid.015.0111>
14. Curnier, D. : Vers une école éco-logique. Le Bord de l'eau (2021)
15. Descamps, S., Temperman, G., Lièvre, B.D. : Vers une éducation à la sobriété numérique. *Humanités numériques* (5) (2022). <https://doi.org/10.4000/revuehn.2858>, <https://journals.openedition.org/revuehn/2858>
16. European Commission. Joint Research Centre. : GreenComp, Le cadre européen des compétences en matière de durabilité. Publications Office (2022). <https://doi.org/10.2760/17791>, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/17791>
17. Ferreira, R., Vardi, M.Y. : Deep tech ethics : An approach to teaching social justice in computer science. In : *Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. pp. 1041–1047 (2021). <https://doi.org/10.1145/3408877.3432449>

18. Fiesler, C., Friske, M., Garrett, N., Muzny, F., Smith, J.J., Zietz, J. : Integrating ethics into introductory programming classes. In : Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education. pp. 1027–1033 (2021). <https://doi.org/10.1145/3408877.3432510>
19. Fiesler, C., Garrett, N., Beard, N. : What do we teach when we teach tech ethics? a syllabi analysis. In : Proceedings of the 51st ACM technical symposium on computer science education. pp. 289–295 (2020). <https://doi.org/10.1145/3328778.3366825>
20. Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G.S., Friday, A. : The real climate and transformative impact of ict : A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns* **2**(9), 100340 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
21. Goodson, I. : Becoming an academic subject : Patterns of explanation and evolution. *British journal of sociology of education* **2**(2), 163–180 (1981). <https://doi.org/10.1080/0142569810020203>
22. Green, B., Viljoen, S. : Algorithmic realism : expanding the boundaries of algorithmic thought. In : Proceedings of the 2020 conference on fairness, accountability, and transparency. pp. 19–31 (2020). <https://doi.org/10.1145/3351095.3372840>
23. Grosz, B.J., Grant, D.G., Vredenburgh, K., Behrends, J., Hu, L., Simmons, A., Waldo, J. : Embedded ethics : integrating ethics across cs education. *Communications of the ACM* **62**(8), 54–61 (2019). <https://doi.org/10.1145/3330794>
24. Hilty, L., Aebischer, B. : ICT for Sustainability : An Emerging Research Field, vol. 310, pp. 3–36 (01 2015). https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
25. IPBES : Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Zenodo, IPBES secretariat, Bonn, Germany (2019). <https://doi.org/doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
26. Lachney, M., Bennett, A.G., Eglash, R., Yadav, A., Moudgalya, S. : Teaching in an open village : a case study on culturally responsive computing in compulsory education. *Computer Science Education* **31**(4), 462–488 (2021). <https://doi.org/10.1080/08993408.2021.1874228>, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08993408.2021.1874228>
27. Lachney, M., Ryoo, J., Santo, R. : Introduction to the special section on justice-centered computing education, part 1 (2021). <https://doi.org/10.1145/3477981>
28. Legardez, A. : Enseigner des questions socialement vives. quelques points de repères. In : L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives, vol. 110, pp. 19–32. ESF Paris (2006)
29. Ligozat, A.L., Marquet, K., Bugeau, A., Lefevre, J., Boulet, P., Bouveret, S., Marquet, P., Ridoux, O., Michel, O. : How to integrate environmental challenges in computing curricula? In : Proceedings of the 53rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1. pp. 899–905 (2022). <https://doi.org/doi.org/10.1145/3478431.3499280>
30. Lin, K. : Do abstractions have politics? toward a more critical algorithm analysis. In : 2021 Conference on Research in Equitable and Sustained Participation in Engineering, Computing, and Technology (RESPECT). pp. 1–5. IEEE (2021). <https://doi.org/10.1109/RESPECT51740.2021.9620635>

31. Lin, K. : Cs education for the socially-just worlds we need : The case for justice-centered approaches to cs in higher education. In : Proceedings of the 53rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1. pp. 265–271 (2022). <https://doi.org/10.1145/3478431.3499291>
32. Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, Ministère des outre-mer : Décret n° 2019-919 du 30 août 2019 relatif au développement des compétences numériques dans l'enseignement scolaire, dans l'enseignement supérieur et par la formation continue, et au cadre de référence des compétences numériques (aout 2019), <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039005162>
33. Nielsen, N.R. : Social responsibility and computer education. *ACM SIGCSE Bulletin* **4**(1), 90–96 (1972). <https://doi.org/10.1145/873684.873708>
34. Paltiel, M., Cheong, M., Coghlan, S., Lederman, R. : Teaching digital ethics in information systems. *ACIS 2022 Proceedings* (25) (2022), <https://aisel.aisnet.org/acis2022/25/>
35. Peters, A.K., Capilla, R., Coroamă, V., Heldal, R., Lago, P., Leifler, O., Moreira, A., Fernandes, J., Penzenstadler, B., Porras, J., et al. : Sustainability in computing education : A systematic literature review. arXiv preprint arXiv :2305.10369 (2023). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.10369>
36. Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., et al. : Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* **9**(37), eadh2458 (2023). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
37. Petreska von Ritter, P., Da Silva, D., Edelmann, R., Farenc, N., Haussauer, V., Holzer, R., Pellet, J.P., Hersch, M. : Modulo, des moyens d'enseignement de l'informatique à visée participative. *Petit x* (2023), <https://hal.science/hal-04186753>, in press
38. Roussilhe, G., Ligozat, A.L., Quinton, S. : A long road ahead : a review of the state of knowledge of the environmental effects of digitization. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **62**, 101296 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101296>
39. Vakil, S., Higgs, J. : It's about power. *Communications of the ACM* **62**(3), 31–33 (2019). <https://doi.org/10.1145/3306617>