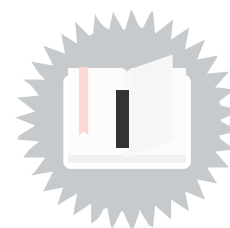


Développement logiciel et ingénierie soutenable

Table des matières

I - Contexte	3
II - ACV	9
III - Actions pour le développement durable du logiciel	11
IV - Sources et compléments	15

Contexte



Objectifs du développement durable (ONU)

- Définition : un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.
- A concilier suivant trois éléments de base : croissance économique, inclusion sociale et protection de l'environnement.
- 17 objectifs classés dans 5 domaines :
 - humanité : 1. pas de pauvreté, 2. faim zéro, 3. bonne santé et bien être, 4. éducation de qualité, 5. égalité entre les sexes
 - prospérité : 6. eau propre et assainissement, 7. énergie propre et abordable, 8. travail décent et croissance économique, 9. industrie, innovation et infrastructure, 10. inégalités réduites, 11. villes et communautés durables, 12. consommation et production responsables
 - planète : 13. lutte contre les changements climatiques, 14. vie aquatique, 15. vie terrestre
 - paix : 16. paix, justice et institutions efficaces
 - partenariat : 17 partenariats pour la réalisation des objectifs

Objectifs du développement durable dans le cadre du numérique

- Développement durable dans le cadre du numérique :
 - réduire **pour** le numérique ou **par** le numérique l'empreinte écologique, économique et sociale
 - inventer un nouveau modèle de société : prenant en compte les limites de l'écosystème, et en utilisant intelligemment les technologies numériques existantes.
- Trois périmètres :
 - Green IT 1.0 : réduire l'empreinte du numérique (pour)
 - Green IT 1.5 : réduire l'empreinte des organisations à l'aide du numérique (par)
 - Green IT 2.0 : inventer de nouveaux produits ou services plus durables grâce au numérique (par)
- Trois moyens techniques avec la low-technicisation
 - efficience (techniques plus performantes)
 - sobriété (ressources utilisées avec parcimonie)
 - dans l'utilisation des ressources (espace, mémoire, temps de calcul)
 - mais aussi fonctionnelle
 - utilisation des énergies renouvelables
- Deux autre approche socio-techniques

- changement des usages
- *appropriation des usages* (hors du GreenIT, pour un nouveau modèle de société)

Impacts du numérique sur la planète

19 facteurs d'impact environnementaux considérés venant de la méthodologie de l'empreinte environnementale de l'Union européenne. 10 indicateurs environnementaux sélectionnés, représentant 85% des impacts globaux pondérés.

- *atteintes aux ressources abiotiques* : comprenant l'utilisation des minéraux et terre rares, l'utilisation des ressources fossiles, l'utilisation de l'eau potable, etc.
- atteintes aux ressources biotiques : comprenant l'impact direct sur les êtres vivants
- *acidification des océans et des sols*,
- *écotoxicité* : présence de polluants dans les écosystèmes
- *toxicité humaine* : effets néfastes sur la santé humaine
- *eutrophisation* : augmentation des taux d'azote et de phosphore dans les océans et les sols
- *changement climatique*
- *dispersion de radio-isotopes* (radiations)
- *destruction de l'ozone stratosphérique*
- *émission d'ozone photochimique et de particules* : apparition de smog

Résultats pondérés et normalisés sur la base de la méthode EF 3.0 : chaque impact est pondéré par rapport à l'impact environnemental d'un individu moyen, puis normalisé par rapport à l'ensemble des impacts pondérés.

Impacts du numérique sur la planète (ACV du numérique en Europe 2021)

	Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données	Total
Utilisation des minéraux et terres rares	20.4%	1.4%	1.2%	23%
Utilisation des matières fossiles	10.5%	2.4%	4.1%	17%
Acidification	2.9%	0.5%	1%	4.4%
Ecotoxicité (eau douce)	3.2%	0.5%	1%	4.8%
Toxicité humaine	0.5%	0%	0.1%	0.6%
Eutrophisation	1.4%	0.3%	0.5%	2.2%
Changement climatique	10.6%	1.9%	3.6%	16.1%
Radiations	7.2%	1.6%	2.2%	11%

	Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données	Total
Destruction de l'ozone stratosphérique	0.1%	0%	0%	0.1%
Emissions d'ozone photochimique et de particules	3.8%	0.7%	1.3%	5.8%
Total	60.6%	9.3%	15%	85%

Notes : les terminaux recouvrent tous les outils du numérique. Les plus grands participants sont les téléviseurs, les ordinateurs portables et les smartphones (environ 20% chacun) suivi des ordinateurs de bureau (environ 10%).

Impact du numérique sur la planète (ACV du numérique en France 2021)

		Niveau 1 : Terminaux utilisateurs	Niveau 2 : Réseau	Niveau 3 : Centres de données	Total	
Energie	Fabrication	37%	2%	2%	41%	100%
	Usage	27%	19%	13%	59%	
GES	Fabrication	76%	5%	2%	83%	100%
	Usage	8%	5%	4%	17%	
Eau	Fabrication	86%	1%	1%	88%	100%
	Usage	1%	4%	3%	12%	
Matières premières	Fabrication	79%	15%	6%	100%	100%
	Usage	0%	0%	0%	0%	

Attention :

- Les matières premières ne prennent pas en compte l'utilisation de ressources fossiles consommées en énergie.
- Sont omises les phases de transport et de fin de vie (pouvant être trouvées dans l'ACV précédent et globalement minoritaires).

Synthèse des ACV du numérique en France et en Europe (2021)

- Trois facteurs d'impact nettement au-dessus des autres : utilisation des minéraux et des terres rares (23%), utilisation des matières fossiles (17%), changement climatique (16%)
 - pour information : le changement climatique dû au numérique représente environ 4,2% de tout le changement climatique
- Impact majoritaire des terminaux utilisateurs (20x plus pour l'utilisation des terres rares, 2x à 5x pour les matières fossiles et le changement climatiques)
- Impact majoritaire de la phase de fabrication (83% GES, 88% eau, 100% matières premières)

-> explication de l'importance des terminaux utilisateurs : ils sont bien plus nombreux

- répartition différente en terme d'utilisation de l'énergie (41% fabrication vs. 59% utilisation ; pour l'utilisation : 45% terminaux, 40% réseau, 25% centres de données)

Le matériel cause directe

- Empreinte environnementale des TIC principalement causée par la fabrication et l'utilisation.
- Nécessité d'utiliser le matériel le plus longtemps possible.
- En pratique :
 - Observation d'une obsolescence accélérée jusqu'au milieu des années 2010 : durée d'utilisation d'un ordinateur divisée par 4 en 25 ans pour atteindre moins de 3 ans en 2005.
 - Améliorations récentes dans le milieu professionnel depuis 2015 : ce chiffre est repassé de 3 ans en 2015 à 5-6 ans en 2020 grâce aux lois sur le reconditionnement (Green IT Benchmark professionnel 2021). Mais cela ne veut pas dire que les entreprises gardent plus longtemps leurs ordinateurs : le chiffre tient compte de la seconde vie apportée par le reconditionnement.
- Causes de l'obsolescence : exigences toujours plus élevées des logiciels, évolution des normes (VGA/HDMI, etc.), obsolescence programmée, besoin de garantie pour les entreprises.
- Pour la fin de vie du matériel : rapport sur le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) de l'ADEME
 - DEEE ménagers : insuffisance du recyclage de ces équipements, malgré une nette progression : en 2012 : 5kg traités sur 24 kg d'équipements électroniques jetés par an par français ; en 2019 : 11,6 kg traités sur 22kg d'équipements jetés par an par français (779785 tonnes totales).
 - DEEE professionnels : 77% traités en 2019 (sur 75121t), mais attention, tout n'est pas valorisable dans le recyclage.

Comment traiter les problèmes matériels ?

- Evolution des normes : garder des moyens de rétro-compatibilité (adaptateurs, support de standards anciens, etc.)
Attention aux effets rebonds (complexité, perte de performance, etc.)
- Obsolescence programmée : cadre législatif, reconditionnement
- Besoin de garantie pour les entreprises : développer une conception donnant priorité à des outils plus durables dans le temps, modularisation (on change une partie, pas tout l'objet)
généralement à l'opposé de l'intérêt économique de l'entreprise développant le produit

Le logiciel cause indirecte

- Principal responsable de l'obsolescence accélérée du matériel informatique : exigences toujours croissantes des logiciels.
- Nouvelle version tous les 2 à 3 ans maximum ; fin du support technique d'une version de 3 à 5 ans en moyenne.
- Chaque nouvelle version nécessite en moyenne 2 fois plus de ressources que la précédente.
 - 70 fois plus de RAM pour écrire le même texte entre Windows 7 +Office 2010 par rapport à Windows 98 +Office 97 pour 12 ans d'écart.
 - Phénomène **obésiciel** ou *bloatware*.

Obésiciel

- En pratique, perte de performances entre des versions différentes de logiciel. Deux causes possibles : parasitage ou entropique.
- Obésiciel de parasitage : consommation de ressources par des logiciels non-nécessaires.

Exemples : logiciels de constructeurs de PC, logiciels en version d'évaluation, utilitaires redondants, désinstallation incomplète.

- Obésiciel entropique : perte de performance du logiciel/système d'exploitation considéré après changement de version.

Parmi les raisons, le foisonnement de fonctionnalités inutiles : en moyenne, seulement 20% des fonctionnalités d'une application sont utilisées par 80% des utilisateurs.

Aspects économiques (analyses de 2012)

- Résultat d'une analyse commandée par HP :
 - 5,8% des budgets informatiques consacrés à des applications sous-utilisées.
 - 15% des applications métiers sous-utilisées voire sans apport réel.
 - coût total par an de 16 milliards de dollars en Europe.
- Résultats d'une analyse Opinion Matters :
 - 10% des logiciels achetés ne sont jamais utilisés.
 - 70% des entreprises achètent plus de licences que nécessaires, 80% des décideurs admettent que des logiciels sur les postes de travail ne sont jamais utilisés.
 - coût de 27 milliards de dollars par an aux Etats-Unis et en Grande Bretagne.
 - causés principalement par une mauvaise gestion des actifs logiciels : 60% des entreprises utilisent un tableur, 10% sur papier, 12% ne gèrent rien.

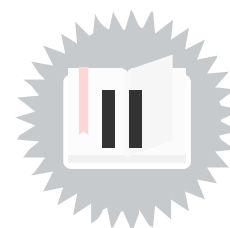
Attention aux effets rebonds

- origine économique du terme venant de 1865 (paradoxe de Jevons) : en cherchant à diminuer l'épuisement du charbon en améliorant l'efficacité de sa production, la demande a explosé et l'épuisement s'est accéléré
- définition pour les critères environnementaux : l'augmentation de consommation (d'énergie, de matière première, etc.) liée à la réduction des limites de l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, et liées aux effort de production et d'usage, leurs risques, leur organisation, etc.
- nombreux exemples dans le numérique !
- trois types d'effet rebonds
 - direct : l'économie entraîne directement un accroissement de la consommation
exemple : la miniaturisation des composants électroniques entraîne une explosion de leur utilisation au lieu d'une diminution de consommation en matières premières ; de plus grandes performances dans la transmission d'information amène une augmentation des communications (évolution ADSL/fibre, par exemple)
 - indirect : l'économie est réinvestie dans la consommation d'autres produits polluants
exemple : l'économie réalisée par une meilleure isolation thermique des bâtiments professionnels est réinvestie dans l'achat de matériels informatiques supplémentaires
 - structurel : l'économie impacte de nombreux autres facteurs

exemple : une solution cloud de stockage de données permet mutualiser les moyens informatiques dans des data-centers proposant un faible PUE (*Power Usage Effectiveness*) ; en contrepartie, une forte demande d'intégrité et d'accès amène une duplication ou triplification du matériel, et pour économiser l'énergie et limiter les pannes, les data centers remplacent leurs serveurs bien avant leur fin de vie.

Durabilité vs Greenwashing

- Le greenwashing consiste à donner une image écologique à une marque ou société en mentant, cachant la vérité ou faisant des allégations non-vérifiées sur des bénéfices environnementaux.
- La société TerraChoice Marketing Inc définit 7 péchés de greenwashing (2010) :
 - compromis caché : prétention ne considérant qu'un nombre restreint d'attributs et en occultant le reste.
Exemple : appareils électriques économes en énergie, occultant la partie fabrication et fin de vie.
 - absence de preuve : prétention non étayée par une information facile à trouver et digne de confiance.
 - imprécision : prétention vague ou floue.
Exemple : produit dit *vert* ou *préservant l'environnement* sans définitions de ces termes.
 - non pertinence : prétention exacte mais inutile ou insignifiante.
Exemple : produit mettant en avant la conformité RoHS (*Restriction of Hazardous Substance*) qui est obligatoire en Europe pour être commercialisé.
 - moindre mal : prétention exacte, mais sur une catégorie de produits globalement nocifs.
Exemple : la cigarette au tabac biologique qui est *moins mauvaise* pour la santé.
 - faux ecolabel : utilisation de labels internes à l'entreprise peu contraignants et non délivrés par un organisme tiers.
Exemple nombreux dans les TIC : label GreenIT de Fujitsu Siemens, labels EcoGreenIT et ECOSustainability de NEC, etc.
 - mensonge : prétention fausse.
- D'après une étude TerraChoice, moins de 1% des produits évalués en Grande Bretagne en 2010 étaient concernés par le péché de mensonge, mais 73% étaient concernés par le péché de compromis caché. 98% des produits étaient concernés par au moins un péché.



Principe et définitions

- Objectif : identifier l'impact environnemental d'un produit **tout au long de son cycle de vie**.
- Définition : l'ACV (Analyse Cycle de Vie) consiste à inventorier les flux de matières et d'énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie d'un produit pour ensuite évaluer ses impacts environnementaux.
- Normalisé en 1997 dans les normes ISO 14040.
- Nécessité de bien fixer les frontières du système à étudier : limites, entrées, sorties, nombre d'unité et d'utilisation considérées, etc.
- Principales phases de l'ACV : extraction des matières premières et fabrication, transport et distribution, usage, fin de vie
- facteurs d'impacts environnementaux : changement climatique, destruction de l'ozone stratosphérique, acidification et eutrophisation des océans, formation d'agents photo-oxydants (smog), atteinte et épuisement des ressources biotiques et abiotiques, utilisation des terres, impacts sur la santé humaine.
- ne pas oublier les aspects économiques et sociaux qui ne sont pas traités par l'ACV : respect des principes équitables dans sa phase de production et commercialisation, discrimination ou manque d'accessibilité, viabilité économique, impacts sociaux.

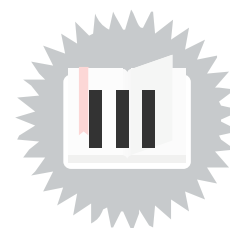
Limites de l'ACV

- Problèmes rencontrés par l'ACV
 - les produits et systèmes ciblés sont complexes à définir et comprendre, ce qui peut causer des erreurs
 - aucune garantie que des éléments n'ont pas été ignorés dans l'analyse (entrées/sorties, processus d'une phase du produit) par oubli ou absence d'information
 - si utilisée pour guider le développement, l'ACV ne peut se baser que sur des prévisions (impossibilité de connaître le futur)
 - difficulté à collecter l'ensemble des données nécessaires à sa réalisation, amenant à utiliser des modèles approximatifs ou à ignorer les informations manquantes
- Conséquence :
 - le résultat d'un ACV est une approximation et peut être très éloigné de la réalité
 - processus coûteux en temps et en travail
- Malgré cela, seule méthode normalisée actuelle pour évaluer l'impact environnemental d'un produit

ACV du logiciel

- Difficile à réaliser : pas de déchets visibles générés, peu de matières premières utilisées dans la phase de fabrication, pas d'obsolescence intrinsèque. Les impacts proviennent majoritairement de sources de production liées au matériel et aux ressources humaines mobilisées lors du développement.
- Phases d'un ACV logiciel : fabrication, distribution, utilisation, fin de vie.
- Principales problématiques :
 - ressources de développement généralement partagées sur plusieurs projets : nécessité de bien suivre le travail effectué sur chaque logiciel.
 - fabrication non terminée à la commercialisation : la maintenance comprend en moyenne 50% des coûts de développement.
 - une nouvelle version est-elle une continuation ou un nouveau produit ?
 - des parties du logiciel peuvent être des bibliothèques existantes ou développées par des sous-traitants : il faut normalement les considérer dans l'ACV.

Actions pour le développement durable du logiciel



Phase de fabrication

- Principaux impacts environnementaux :
 - déplacements,
 - fonctionnement d'une entreprise de service dématérialisée (moyens humains et matériels pour le développement).
- Actions recommandées (typique pour les entreprises de service dématérialisées) :
 - favoriser le télétravail pour réduire les déplacements,
 - prolonger la durée de vie du matériel et des infrastructures,
 - favoriser la gestion de configuration,
 - économiser les consommables et l'énergie sur le matériel,
 - mettre en place un cadre de travail agréable ,
 - favoriser la non-discrimination.

Phase de distribution

- Principaux impacts environnementaux :
 - moyens techniques (serveurs, réseaux, terminaux, etc.)
 - moyens humains
 - éventuellement, affrètement et production de manuels utilisateurs et supports matériels (DVD).
- Actions recommandées (typique pour les entreprises de bien de consommation) :
 - privilégier une distribution dématérialisée,
 - éviter des installations de trop grosses tailles en espace disques et des performances surdimensionnées,
 - permettre une installation fonctionnelle modulaire pour diminuer l'espace disque et mémoire requis,
 - respect des données personnelles,
 - pratiques commerciales claires pour le client.

Phase d'utilisation

- Principaux impacts environnementaux :
 - énergie consommée lors de l'utilisation,
 - production des équipements nécessaire à l'utilisation du logiciel (serveurs, terminaux, etc.)
 - consommables,

- Actions recommandées :
 - bonne conception pour éviter l'obésiciel et une consommation importante de ressource :
 - étudier les choix d'architecture du logiciel et décomposer les fonctionnalités par service,
 - bien choisir les langages et bibliothèques, favoriser la réutilisation, et optimiser (quitte à re-développer) les fonctions majeures et consommatrices,
 - mettre en place des outils de mesure de la qualité et de la consommation pour favoriser la maintenance,
 - optimiser la volumétrie des données nécessaires.
 - considérer les aspects sociaux :
 - accessibilité au plus grand nombre,
 - privilégier l'usage : le logiciel doit d'adapter à l'usage et ne proposer que les fonctionnalités nécessaires,
 - sûreté et sécurité du produit,
 - respect des données personnelles.

Phase de fin de vie

- Principaux impacts environnementaux :
 - désinstallation,
 - fin de vie des données (recyclage, réutilisation, anonymisation) ou de l'accès à un service (désinscription)
- Actions recommandées :
 - pérennisation du code (documentation et évolutivité),
 - désinstallation propre,
 - récupération facile des données,
 - interruption du logiciel ou du service sans contrepartie dissuasive.

Cycles de vie projet et développement durable durabilité

- Généralement, éviter la programmation *quick and dirty*.

Une dette technique se transforme généralement en dette environnementale : obésiciel, code non maintenu et abandonné, code mal optimisé, etc.
- L'aspect environnemental peut être facilement intégré comme exigences dans la plupart des modèles de cycle de vie.

Exemple du cycle en V : lister les exigences environnementales dans la phase descendante de l'expression des besoins, les dériver tout au long de la phase descendante et vérifier leur intégration dans la phase ascendante.
- Avantages environnementaux dans les méthodes agiles :
 - meilleure convergence avec les besoins utilisateurs (pas de fonctions inutiles, retour rapide du client sur le produit, meilleure maîtrise des coûts et des délais en pouvant arrêter le projet à tout moment),
 - processus itératif permettant d'ajouter si nécessaire à chaque cycle au backlog des tâches de réduction de la dette technique et de mesures et corrections des contraintes environnementales.

- effet rebond possible avec une perte de la posture de sobriété : le client peut être trop enthousiaste devant les fonctionnalités proposées ou le développeur peut chercher à faire le maximum de fonctionnalités possibles pour maximiser le coût du produit

Code d'éthique

- Contradictions existantes entre développement durable et intérêt économique
 - sobriété vs. facturation/marketing du produit
 - coût des approches durables (ACV, développement supplémentaire, etc.)
- Appétence de plus en plus importante des ingénieurs pour un impact positif et durable de leur travail sur la société.
- Proposition conjointe de code d'éthique des ingénieurs logiciels par l'ACM (Association for computing) et l'IEEE-CS en 1997 (DOI: 10.1145/265684.265699).

Principes fondamentaux en faveur de :

- Public : Les ingénieurs logiciels doivent agir en conformité avec l'intérêt public.
Exemple : accepter la responsabilité pour son travail ; modérer les intérêts de l'ingénieur, de l'employeur, du client, des utilisateurs avec le bien public ; informer les autorités appropriées de tout danger pour l'utilisateur, l'environnement ou le grand public ; etc.
- Client et l'employeur : Les ingénieurs logiciels doivent agir d'une manière qui est dans le meilleur intérêt de leur client et l'employeur et conforme à l'intérêt public.
Exemple : être honnête dans ses propres compétences et leurs limites ; garder les informations privées confidentielles, tant qu'elles ne sont pas contraires à l'intérêt public et à la loi ; etc.
- Produit : Les ingénieurs logiciels doivent s'assurer que leurs produits et modifications connexes sont conformes aux plus hautes normes professionnelles possibles.
Exemple : Réaliser toute action de maintenance aussi professionnellement que le développement d'un nouveau produit ; garantir une documentation suffisante, notamment considérant tout problème rencontré et solutions adoptées, sur tous ses projets ; etc.
- Jugements : Les ingénieurs logiciels doivent maintenir l'intégrité et l'indépendance de leur jugement professionnel.
Exemple : maintenir une objectivité professionnelle face à tout logiciel ou document à évaluer ; refuser de participer à tout comité ou organisation dans laquelle l'employeur peut avoir de potentiels conflits d'intérêt non-déclarés, etc.
- Management : Les responsables de l'ingénierie du logiciel et les dirigeants doivent souscrire et promouvoir une approche éthique de la gestion du développement de logiciels et de la maintenance.
Exemple : Ne pas empêcher quelqu'un d'obtenir un poste pour lequel il est correctement qualifié ; s'assurer qu'il y a un juste accord sur la propriété de toute propriété intellectuelle à laquelle un ingénieur a contribué, etc.
- Profession : Les ingénieurs logiciels doivent porter la réputation de la profession conformément à l'intérêt public.
Exemple : ne pas promouvoir son intérêt personnel au dépens de la profession, d'un client ou d'un employeur ; être précis sur les caractéristiques d'un logiciel développé, évitant non seulement les propos faux mais aussi les propos vagues, hypothétiques, manipulateurs ou douteux.
- Collègues : Les ingénieurs logiciels doivent être justes et aider leurs collègues.

Exemple : encourager ses collègues à adhérer à ce code ; assister ses collègues dans leur développement professionnel ; créditer justement le travail des autres et ne pas s'octroyer un crédit non-mérité ; etc.

- Soi-même : Les ingénieurs logiciels doivent participer à l'apprentissage tout au long de la pratique de leur profession et promouvoir une approche éthique de la pratique de la profession.

Exemple : Améliorer ses propres connaissances concernant le développement logiciel ; reconnaître que ne pas respecter ce code est en contradiction avec être un ingénieur développeur responsable et professionnel ; etc.

Sources et compléments



- *Green Pattern – Manuel d'éco-conception des logiciels – Version 1*, Olivier Philippot, Frédéric Bordage, Thierry Leboucq et al., une action Green Code Lab (greencodelab.fr), 2009.
- *L'écoconception des services numériques*, Caroline Vateau, Sofiann Yousfi Monod, Frédéric Bordage et al., GreenIT, 2017.
- *Le numérique en Europe : une approche des impacts environnementaux par l'analyse du cycle de vie*, Frédéric Bordage, Lorraine de Montenay et al., E, GreenIT.fr, 2021.
- *Impacts environnementaux du numérique en France*, Frédéric Bordage, Lorraine de Montenay, Olivier Vergeynst et al., GreenIT, 2021.
- *Rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques*, Erwann Fangeat, Alice Deprouw, Marion Jover et al., ADEME, 2020.



Impacts environnementaux et numérique (Pierre La Rocca, CC BY-SA) (cf. Impacts environnementaux et numérique)



Impacts environnementaux du numérique
<https://librecours.net/parcours/misc/impactnum/>