

Impacts environnementaux du numérique : état de l'art



Table des matières

I - Méthodes et indicateurs (en bref)	3
1. Sostenabilité et responsabilité dans le cadre du numérique	3
2. Introduction à l'ACV	4
3. Facteurs d'impacts environnementaux.....	5
4. Numérique : niveaux et phases de vie	6
II - Synthèse de l'état de l'art des études d'impacts environnementaux du numérique	7
1. Synthèse des ACV du numérique en France et en Europe (2021).....	7
2. Le matériel cause directe	8
3. Le logiciel cause indirecte	8
4. Le phénomène obésiciel	8
III - Actions orientées conception soutenable dans le domaine numérique	10
1. Quelles actions pour les composants matériels ?.....	10
2. Quelles actions pour les composants logiciels ?.....	10
3. Actions au niveau national.....	11
4. Un code d'éthique pour les ingénieurs ?	13
IV - Exercice	15
Webographie	16
Crédits des ressources	17

Méthodes et indicateurs (en bref)



1. Soutenabilité et responsabilité dans le cadre du numérique

- réduire l'empreinte écologique, économique et sociale
 - **pour** le numérique ou
 - **par** le numérique
- inventer un nouveau modèle de société : prenant en compte les limites de l'écosystème, et en utilisant intelligemment les technologies numériques existantes.

Approche d'ingénierie classique : optimiser

- efficacité : techniques plus performantes
- sobriété : ressources utilisées avec parcimonie
 - sobriété des ressources (espace, mémoire, temps de calcul)
 - sobriété fonctionnelle
- utilisation des énergies renouvelables

Approche additionnelle : low-tech



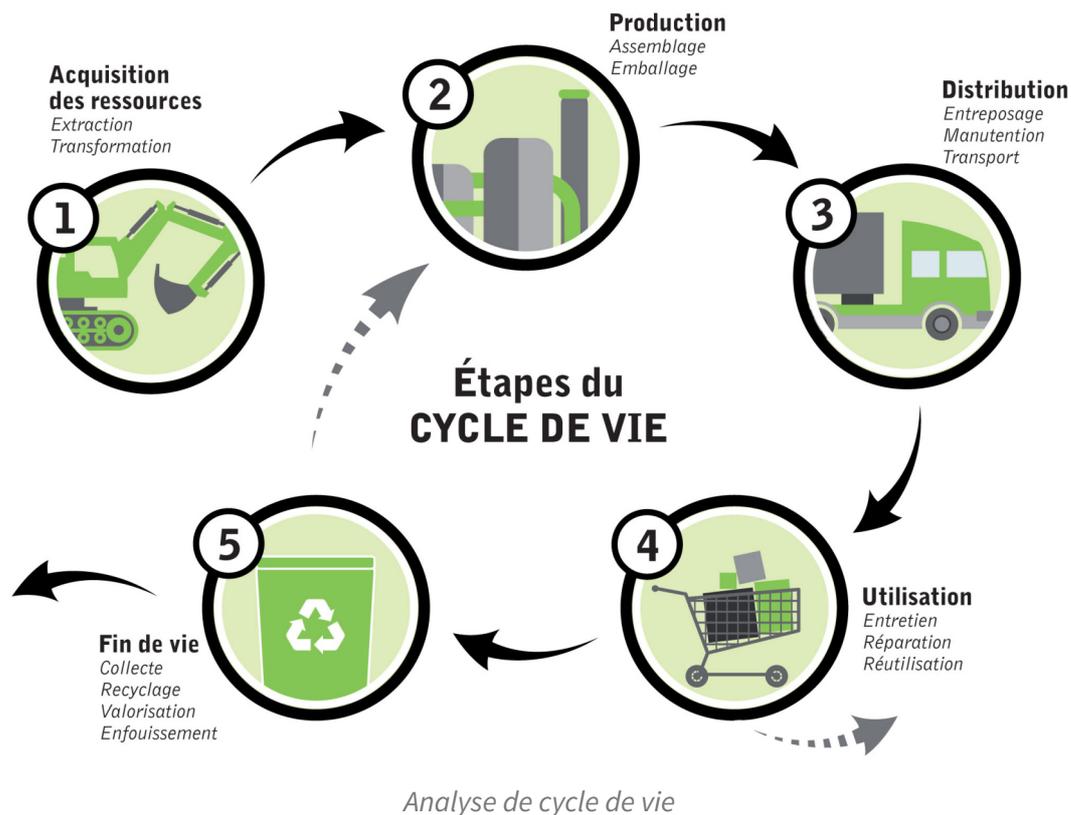
- imaginer : de nouvelles solutions, de nouvelles façons de partager la technologie
- alerter : faire connaître des alternatives, informer le client ou ses collègues de problèmes en connaissance de cause

GreenIT



Green IT

2. Introduction à l'ACV



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.

Principales phases de l'ACV



- Extraction des matières premières et fabrication
- Transport et distribution
- Usage
- Fin de vie



Nécessité de bien fixer les frontières du système à étudier : limites, entrées, sorties, nombre d'unité et d'utilisation considérées, etc.



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.



Normalisé en 1997 dans les normes ISO 14040.

3. Facteurs d'impacts environnementaux

Comment évaluer la durabilité d'un produit ou d'un processus ?

- Quels impacts va-t-on à évaluer ?
 - C'est quoi les impacts d'un produit sur l'égalité ou la paix ?
 - impacts environnementaux : modifications (positives ou négatives) sur l'environnement :
 - est-ce facile d'identifier ces modifications ? est-on sûr de n'avoir rien oublié ?
- Quelles mesures utiliser ?
 - quoi mesurer ?
 - quelles unités ? comment comparer les résultats de différentes modifications entre eux ?
 - comment obtenir les données ?

Même pour les impacts environnementaux les plus simples à manipuler, il n'y a pas de réponses complètement satisfaisantes à ces questions !

Quelques critères (issus du PEF et des limites planétaires)



- impact sur le changement climatique
- impact sur la couche d'ozone
- impact sur les humains (cancers, particules fines, radiations...)
- impact sur les sols (acidification, disponibilité des terres, excédent d'azote et de phosphore)
- impact sur les eaux douces et marines (excédent d'azote, acidification...)
- impact sur les éco-systèmes
- impact sur la diminution des ressources (eau, minéraux, métaux, ressources fossiles)



Product Environmental Footprint v3.1

Limites planétaires

Consommation en énergie et impacts



- Elle n'est pas un impact environnemental direct
- Elle a des conséquences sur les PEF : resource use (fossils), climate change, ionising radiation (et autres)
- Ces conséquence dépendent des sources d'énergie : hautement dépendant des pays !

Normalisation et factorisation



Les processus de normalisation et de factorisation permettent :

- d'homogénéiser les mesure d'impacts,
- et de les pondérer entre elles.

4. Numérique : niveaux et phases de vie

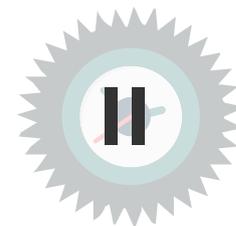
3 niveaux de composants habituellement identifiés

- niveau 1 : terminaux utilisateurs. PC de bureau, PC portables, téléphones mobiles, téléphones, téléviseurs, écrans, imprimantes, boîtes internet, etc.
- niveau 2 : réseau. Antennes, répéteurs, switchs, hubs, bornes wifi, câblage, etc.
- niveau 3 : datacenter. Serveurs, refroidissement, stockage

4 phases de vie

- phase de fabrication : extraction des minerais, fabrication des composants, acheminement des composants, assemblage
- phase de distribution : transport du produit jusqu'à l'utilisateur, packaging, manuels d'utilisation
- phase d'usage : utilisation du produit, consommables compris, reconditionnement total
- phase de fin de vie : recyclage, reconditionnement partiel, mise aux déchets

Synthèse de l'état de l'art des études d'impacts environnementaux du numérique



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

Trois facteurs d'impact nettement au-dessus des autres



Fondamental

- utilisation des minéraux et des terres rares (23%),
- utilisation des matières fossiles (17%),
- changement climatique (16%)

Impact majoritaire de la phase de fabrication



Fondamental

- 83% GES,
- 88% eau,
- 100% matières premières.

Impact majoritaire des terminaux utilisateurs



Fondamental

- 20x plus pour l'utilisation des terres rares,
- 2 à 5x pour les matières fossiles et le changement climatiques.



Remarque

Les terminaux utilisateurs sont bien plus nombreux.

Répartition fabrication / utilisation en terme d'utilisation de l'énergie

- 41% fabrication,
- 59% utilisation

Répartition de l'utilisation de l'énergie

- 45% terminaux,
- 40% réseau,
- 25% centres de données

Le changement climatique dû au numérique représente environ 4% de tout le changement climatique.



Complément

Études existantes

2. 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 (779 785 tonnes totales).
 - DEEE professionnels : 77% traités en 2019 (sur 75 121 tonnes), mais attention, tout n'est pas valorisable dans le recyclage.

3. 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*.

4. Le phénomène obésiciel

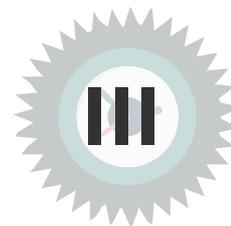
- En pratique, perte de performances entre des versions différentes de logiciel. Deux causes possibles : parasitage ou entropique.
- Obésiciel de parasitage : consommation de ressources par des logiciels non-nécessaires.
Exemples : logiciels de constructeurs de PC, logiciels en version d'évaluation, 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.

Le phénomène obésiciel dans les entreprises (études 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.

Actions orientées conception soutenable dans le domaine numérique



1. Quelles actions pour les composants matériels ?

- Conserver les objets électroniques le plus longtemps possible (scénarios sobres de l'ADEME sur des moyennes de 5 à 7 ans pour des ordinateurs)
- Evolution des normes : garder des moyens de rétro-compatibilité (adaptateurs, support de standards anciens, pièces détachées, 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.

2. Quelles actions pour les composants logiciels ?

- Développer le minimum de fonctionnalités touchant le maximum d'utilisateurs. Ne pas hésiter à discuter le besoin avec le client.
- Généralement, éviter la programmation *quick and dirty*, augmenter la qualité du code et la documentation.

Une dette technique se transforme généralement en dette environnementale : obésiciel, code non maintenu et abandonné, code mal optimisé, etc.

- L'aspect environnemental peut en partie être 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

3. Actions au niveau national

Loi du 15 novembre 2021 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France

- faire prendre conscience de l'impact du numérique : formation à la sobriété numérique à l'école et à l'université ; module sur l'écoconception numérique pour les écoles d'ingénieurs en informatique ; création d'un observatoire des impacts environnementaux du numérique (ADEME, ARCEP).
- limiter le renouvellement des appareils électroniques : interdiction aux fabricants de rendre impossible la restauration de l'ensemble des fonctionnalités d'un terminal réparé ou reconditionné ; interdiction des techniques empêchant le consommateur d'installer le système d'exploitation ou les logiciels de son choix sur son appareil au bout d'un délai de deux ans ; organisation de collecte nationale d'équipements numériques, etc.
- favoriser des usages numériques écologiquement vertueux : Référentiel général d'écoconception de services numériques (RGESN) mis en place en 2022^{RGESN 2022} ^{RGESN 2022} p.16
- promouvoir des datacenters et des réseaux moins énergivores : renforcement des conditionnalités environnementales pour obtenir une réduction de la taxe intérieure de consommation finale d'électricité (TICFE) pour les *datacenters* ; obligation pour les opérateurs de communications électroniques de publier des indicateurs clés récapitulant leurs engagements en faveur de la transition écologique.
- promouvoir une stratégie numérique responsable dans les territoires : les plans climat/air/énergie territoriaux (PCAET) devront intégrer l'enjeu de la récupération de chaleur des centres de données ; à partir de 2025, les communes et leurs intercommunalités de plus de 50 000 habitants devront élaborer une stratégie numérique responsable.

Guide de bonnes pratiques numérique responsable pour les organisations

- 9 volets : Stratégie et gouvernance ; Sensibilisation et formation ; Mesure et évaluation ; Réduction des achats ; Achat durable ; Phase d'usage, administration et paramétrages ; Services numériques ; Salle serveur et centre de données ; Fin de vie
- pour chaque bonne pratique : un niveau de difficulté (3 la plus prioritaire à 1), un niveau de difficulté (3 la plus difficile à 1), des exemples de pilote et d'indicateur de pilotage, une description

Bonnes pratiques numériques, MiNumEco 2022^{Bonnes pratiques numériques, MiNumEco 2022} p.16

Exemples



- Stratégie et gouvernance : dédier une personne spécifique à la coordination de la démarche numérique responsable (P : 3, D : 2) ; obtenir et consacrer un budget spécifique (P : 3, D : 2)
- Sensibilisation et formation : intégrer les compétences numérique responsable dans le plan de formation (P : 2, D : 2), former en interne à la réparation du matériel hors-garantie (P : 1, D : 3)
- Mesure et évaluation : évaluer régulièrement l'empreinte environnementale du système d'information (P : 2, D : 3)
- Réduction des achats : Réduire le nombre des équipements (P : 3, D : 2), Mettre à jour les équipements au lieu de les remplacer (P : 3, D : 2)
- Achat durable : privilégier des équipements issus du réemploi et contenant des matériaux recyclés (P : 3, D : 2) ; privilégier les achats durables et réparables (P : 3, D : 2)

- Phase d'usage, administration et paramétrages : agir sur les paramètres par défaut (P : 2, D : 1), Mettre en place une stratégie de gestion des données (P : 3 ; D : 3), réduire les impacts liés à la messagerie (P : 2, D : 1), réduire les impacts liés à l'impression (P : 2, D : 1)
- Services numériques : Evaluer collectivement la pertinence des fonctionnalités à concevoir (P : 3, D : 2), Systématiser une revue de conception en amont et une revue de code orientées sobriété numérique (P : 3, D : 2), Concevoir un service numérique compatible avec des équipements les plus anciens possibles (P : 3, D : 2), Concevoir un service numérique compatible avec des faibles débits (P : 3, D : 2), Concevoir à l'aide de technologies standard plutôt que de technologies propriétaires ou spécifiques à une plateforme (P : 2, D : 2),
- Salle serveur et centre de données : Intégrer des clauses environnementales lors du choix d'un prestataire d'hébergement (P : 3, D : 2), Optimiser l'architecture du centre de données (P : 2, D : 3), Mettre en place un suivi régulier des indicateurs des centres de données (P : 2, D : 3)
- Fin de vie : Réemployer en remettant en état (P : 3, D : 2), Faire appel à un éco-organisme pour la gestion des DEEE (P : 3, D : 1), Trier et collecter séparément les consommables (P : 3, D : 1), Tenir un registre des déchets (P : 3, D : 2)

Indice de réparabilité

- affichage obligatoire d'une note sur 10 informant les consommateurs sur le caractère plus ou moins réparable d'un produit.
- déployé en 2021 sur cinq catégories de produits (smartphones, ordinateurs portables, téléviseurs, tondeuses à gazon, lave-linges hublot) et étendu en 2022 sur quatre nouvelles catégories (lave-linges top, lave-vaisselles, aspirateurs, nettoyeurs haute-pression).
- transformation initialement prévue en 2024 en un indice de durabilité ajoutant des facteurs de robustesse et de fiabilité, mais abandonnée pour un indice de durabilité européen moins strict prévu en 2025.
- note donnée sur cinq critères : documentation, démontabilité, disponibilité des pièces détachées, prix des pièces détachées, critères spécifiques à chaque catégorie.

Indice réparabilité, 2022 ^{Indice réparabilité, 2022 p.16}

Exemple de notes sur des smartphones



- iPhone 14 Pro : 7/10 ; iPhone 11 reconditionné : 4.6/10
- Xiami 12T : 7.4/10
- Samsung Galaxy S23 : 8.4/10 ; Samsung Galaxy S10 reconditionné : 5.6/10
- Google Pixel 7 : 7.2/10

Boîte à outils numérique écoresponsable

- dernière mise à jour en juillet 2023
- propose des outils tiers de mesure d'impacts environnementaux d'une page web (GreenIT, Shift Project, etc.), de l'utilisation du cloud (Thoughtworks), de la consommation électrique d'un logiciel (INRIA), de la consommation en énergie des processus d'un serveur (Scaphandre), des règles d'écoconception pour le code (Ecode), etc.

La plupart de ces outils sont complexes pour des non informaticiens.

- propose également des outils d'évaluation d'impact pour les organisations : bilan carbone en fonction du nombre d'appareils et de leur durée de vie (EcoDiag), checklist des recommandations du Référentiel d'Ecoconception des Services Numériques (NumEcoDiag)

Certains de ces outils doivent être compilés avant d'être utilisés.

BaO numérique écoresponsable, MiNumEco 2021 ^{BaO numérique écoresponsable, MiNumEco 2021 p.16}

4. Un code d'éthique pour les ingénieurs ?

- Contradictions existantes entre développement durable et intérêt économique
 - sobriété vs. facturation/marketing du produit
 - durabilité vs. obsolescence
 - coût des approches durables (ACV, développement supplémentaire, ressources supplémentaires, 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 *ACM Ethics Code 1997*^{ACM Ethics Code 1997 p.16}.

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.

Exercice



Organisation

On constitue 6 groupes de 6.

3 groupes travailleront sur une restitution orale (troubadours) et 3 autres groupes sur une restitution écrite (scribes).

Attribution des rôles pour les groupes « Troubadours ».

- 1 animateur·ice gère la distribution et le temps de parole.
- 1 ou 2 secrétaires prennent des notes.
- 1 ou 2 rapporteur·euses écoutent, suivent la prise de notes et restituent les notes à l'oral à la fin.
- Les autres proposent des éléments de réponse à la question à tour de rôle.
- Une fois le tour fini, s'il reste du temps on peut engager une discussion plus libre.

Attribution des rôles pour les groupes « Scribes ».

- 1 animateur·ice gère la distribution et le temps de parole.
- 1 à 3 secrétaires prennent des notes.
- Les autres proposent des éléments de réponse à la question à tour de rôle.
- Une fois le tour fini, s'il reste du temps on peut engager une discussion plus libre.

Questions

1. Quelles principales raisons de l'obésité (de parasitage, entropique...) identifiez-vous et comment les anticiper/contrer (vous pouvez aller piocher dans la partie 2) ?
2. Proposez des moyens d'augmenter la durée de vie du matériel numérique (vous pouvez aller piocher dans les conseils de la partie 3).
3. Quels sont les avantages et inconvénients d'un code éthique, des exemples que vous voudriez mettre en avant ou pas ?

Webographie



[ACM Ethics Code 1997] <https://ethics.acm.org/code-of-ethics/software-engineering-code/>

[BaO numérique écoresponsable, MiNumEco 2021]

<https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/boite-outils/>

[Bonnes pratiques numériques, MiNumEco 2022]

<https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/bonnes-pratiques/>

[Indice réparabilité, 2022] <https://www.ecologie.gouv.fr/indice-reparabilite>

[RGESN 2022] <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/referentiel-general-ecoconception/>

Crédits des ressources



Analyse de cycle de vie p. 4

Polytechnique Montréal, 2023. <https://www.polymtl.ca/>