

Comment aborder les questions de durabilité dans l'enseignement de l'informatique ?

Quelques éléments de contexte et approche par la
problématisation

Baptiste de Goër

`baptiste.de-goer-de-herve@univ-grenoble-alpes.fr`

Doctorant

Action exploratoire SIA | ED MSTII

Centre Inria de l'Université Grenoble-Alpes

Journée académique sur l'enseignement de l'informatique à

Marseille

21 mai 2025

- Doctorant à l'Inria à Grenoble
- Formation en ingénierie informatique, puis orientée enjeux de durabilité (point de vue ingénieur/low-tech)
- Sujet de thèse : *Comment intégrer la prise en compte des enjeux de soutenabilité liés au numérique dans l'enseignement de l'informatique ?*

- 1 Motivations de la présentation
 - Un monde pas très en forme
 - Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école
 - L'aborder en cours d'informatique
- 2 Une grille de lecture des enjeux
- 3 Enjeux de durabilité liés au numérique
 - Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique
 - Enjeux de durabilité : approfondissement
 - Problématiser les enjeux de durabilité liés au numérique
 - En résumé
- 4 Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique
 - Ce qui existe (à ma connaissance)
 - Questions Socialement Vives (QSV), numérique et durabilité
 - La problématisation
 - Quelques pistes pour une telle approche
 - Enjeux autour de l'approche par la problématisation
 - En résumé
- 5 Conclusion

Motivations de la présentation

Motivations de la présentation

Un monde pas très en forme

Climat : chaleur, sécheresse, une année 2022 record en 6 chiffres

Météo France a publié ce mercredi son bilan climatique provisoire de l'année 2022. Hausse des températures, canicules à répétition, baisse de la pluviométrie et impact du réchauffement climatique... retour en chiffres sur une année hors norme.

 Ajouter à mes articles

 Commenter

 Partager

[Climat](#)

[Société](#)

PLANÈTE • CLIMAT

L'été 2023 a été le plus chaud jamais mesuré dans le monde, selon l'observatoire européen Copernicus

« L'effondrement climatique a commencé », a réagi mercredi le secrétaire général des Nations unies, Antonio Guterres, dans un communiqué.

Le Monde avec AFP

Publié le 06 septembre 2023 à 10h12, modifié le 06 septembre 2023 à 13h37 ·  Lecture 6 min.

 Ajouter à vos sélections 

franceinfo:



Recherche



Direct TV



Direct radio



Live



Services ▾

Crise climatique : l'été 2024 a été le plus chaud jamais enregistré à l'échelle mondiale, selon l'observatoire Copernicus

Les températures observées de juin à août rendent "de plus en plus probable que 2024 sera l'année la plus chaude jamais enregistrée", selon l'observatoire.



franceinfo

France Télévisions

La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme



Consulter
le journal

Le Monde



S'abonner



Planète

Comprendre le réchauffement climatique 9 indicateurs de l'urgence climatique

PLANÈTE • CLIMAT

Climat : les températures mondiales toujours au sommet en mars, selon Copernicus

L'Europe, qui se réchauffe plus vite que le reste du monde, a connu son mois de mars le plus chaud jamais enregistré, s'accompagnant de précipitations extrêmes dans certaines régions tandis que d'autres se trouvaient dans la sécheresse.

Le Monde avec AFP

Publié le 08 avril 2025 à 05h04, modifié le 08 avril 2025 à 07h22 · Lecture 2 min.

Lire plus tard



La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme

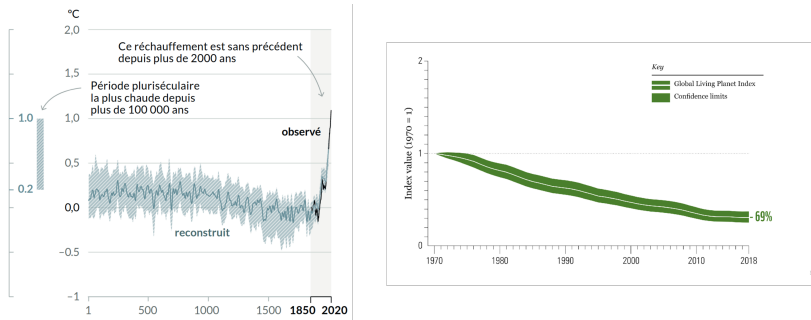


Figure – Évolution de la température globale (gauche) et effondrement des populations d'espèces vertébrées (droite).

Sources : (IPCC, 2021) ; Living Planet Index <https://livingplanetindex.org/>

La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme

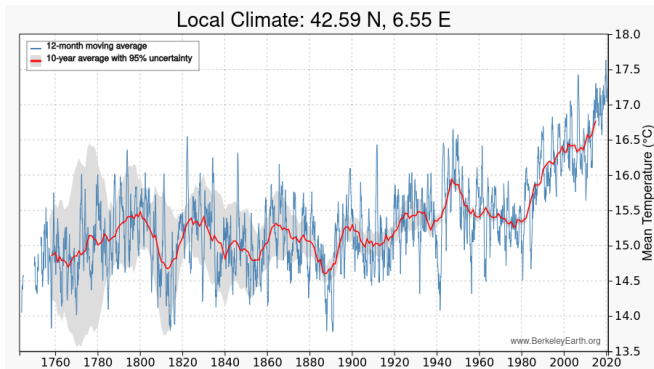


Figure – Évolution de la température moyenne à Marseille.

Source : Berkeley Earth <https://berkeleyearth.org/>

La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme

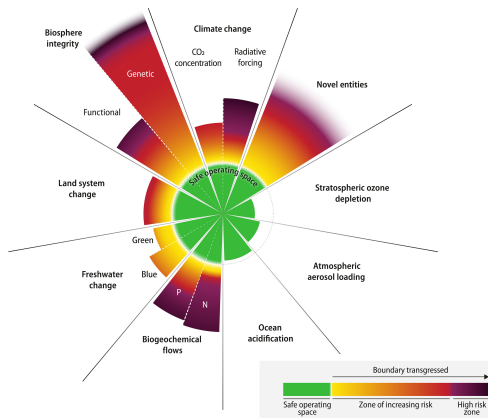


Figure – Limites planétaires

Source : (Richardson et al., 2023)

La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme

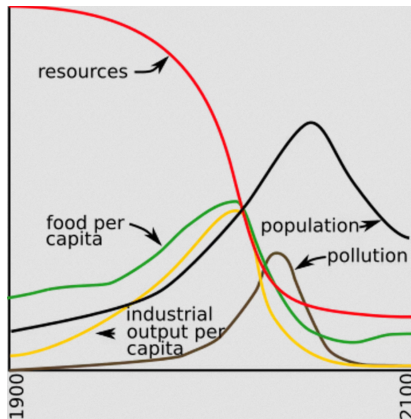


Figure – Évolution de différentes variables au cours du temps selon le modèle World3

Source : (Meadows et al., 2018) (repris dans un article de The Conversation)

La crise environnementale s'intensifie

Un monde pas très en forme

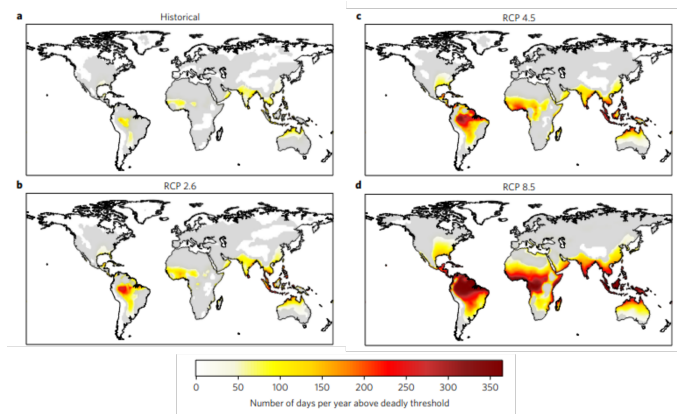


Figure – Distribution géographique des conditions climatiques létales en fonction des scénarios d'émissions.

Source : (Mora et al., 2017)

Un monde durable

Un monde pas très en forme

Donc un constat pas joli, et de cause **anthropique**.

1. sauf fatalisme sur la "nature humaine"

Un monde durable

Un monde pas très en forme

Donc un constat pas joli, et de cause **anthropique**.

Donc a priori¹, on *peut* changer les choses.

1. sauf fatalisme sur la "nature humaine"

Donc un constat pas joli, et de cause **anthropique**.

Donc a priori¹, on *peut* changer les choses.

Et aller vers une **société durable**, ce qui peut vouloir dire beaucoup de choses (voir par exemple Salas-Zapata, Rios-Osorio et Cardona-Arias, 2017).

Prenons par exemple une version modifiée de la définition du rapport Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987).

« *[Une société] durable est [une société] qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.* »

1. sauf fatalisme sur la "nature humaine"

Motivations de la présentation

Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école

Pourquoi enseigner ces questions-là ?

Pourquoi enseigner ces questions-là ?

- Il y a une demande institutionnelle

Pourquoi enseigner ces questions-là ?

- Il y a une demande institutionnelle
- Les problèmes environnementaux vous préoccupent

Pourquoi enseigner ces questions-là ?

- Il y a une demande institutionnelle
- Les problèmes environnementaux vous préoccupent
- Dans une démocratie, c'est important de former les citoyen·nes à comprendre des questions de société

Une demande institutionnelle - Référentiels de compétences numériques

Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école

CRCN (France)

Prévenir et limiter les risques générés par le numérique sur la santé, le bien-être et l'environnement mais aussi tirer parti de ses potentialités pour favoriser le développement personnel, le soin, l'inclusion dans la société et la qualité des conditions de vie, pour soi et pour les autres

Compétence 4.3 - Protéger la santé, le bien-être et l'environnement

DigComp (Europe)

To be aware of the environmental impact of digital technologies and their use

Competence 4.4 - Protecting the environnement

Une demande institutionnelle - Référentiels de compétences en durabilité

Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école

France : Éducation au développement durable et à la transition écologique

Exemples de thématiques particulièrement importantes dans le cadre de l'EDD : [...] le numérique : en s'intéressant tout autant aux apports du numérique [...] qu'à ses effets délétères sur l'environnement ;

Principes, référentiel, démarches pédagogiques

*Cette progression pour l'apprentissage des compétences en matière de durabilité est déclinée à travers les six thèmes suivants : [...]
Thème 6 - Numérique [à venir]*

Repères de progression

Une demande institutionnelle - Référentiels de compétences en durabilité

Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école

Europe : GreenComp

Par exemple : les technologies vertes promettent souvent des retombées positives pour la durabilité, mais peuvent néanmoins avoir des conséquences involontaires lorsqu'elles sont appliquées à l'échelle du système [...].

4.2.1 - Pensée systémique

Par exemple : l'action collective à l'ère numérique a pris de l'ampleur et est facilitée par la technologie, par exemple, la Coalition européenne «Éducation pour le climat» [...]

4.4.2 - Action collective

En France

[Le fonctionnement des centres de données] nécessite des ressources [...] et génère de la pollution [...]. De ce fait, les usages numériques doivent être pensés de façon à limiter la transformation des écosystèmes (notamment le réchauffement climatique) et à protéger la santé humaine.

Programme de SNT

En lien avec les sciences économiques et sociales [...], les élèves calculent les différentes sources de [la croissance économique] pour [...] comprendre qu'une croissance économique soutenable se heurte à des limites écologiques.

Vademecum SNT et NSI

Une demande institutionnelle - Programmes disciplinaires

Informatique et durabilité : une préoccupation de l'école

En Suisse

La démarche réflexive et critique permet de situer l'informatique en société, notamment au travers des effets de continuité, de rupture ou d'amplification des pratiques et dynamiques sociales. [...]

Dans le cadre d'une sensibilisation aux enjeux sociaux, l'enseignant·e abordera plusieurs des thématiques suivantes : [...]; numérique et environnement.

Plan d'études du canton de Vaud, section "Informatique"

Formation pour adultes du Québec

l'adulte sera conscientisé aux impacts sur l'environnement entraînés par la production, la consommation, le recyclage et l'éventuelle destruction de ces équipements technologiques.

Programme d'études en informatique du deuxième cycle

Motivations de la présentation

L'aborder en cours d'informatique

- La question des enjeux de durabilité est une préoccupation croissante de la société et des institutions

- La question des enjeux de durabilité est une préoccupation croissante de la société et des institutions
- Ces questions atterrissent alors dans l'enseignement

- La question des enjeux de durabilité est une préoccupation croissante de la société et des institutions
- Ces questions atterrissent alors dans l'enseignement
- Ce sont plutôt les enseignant·es d'informatique qui se retrouvent à traiter de ces questions...

- La question des enjeux de durabilité est une préoccupation croissante de la société et des institutions
- Ces questions atterrissent alors dans l'enseignement
- Ce sont plutôt les enseignant·es d'informatique qui se retrouvent à traiter de ces questions...
- ... mais ce n'est pas évident de déterminer comment s'y prendre

- La question des enjeux de durabilité est une préoccupation croissante de la société et des institutions
- Ces questions atterrissent alors dans l'enseignement
- Ce sont plutôt les enseignant·es d'informatique qui se retrouvent à traiter de ces questions...
- ... mais ce n'est pas évident de déterminer comment s'y prendre
- Et les essais peuvent-être source d'insatisfaction

Sources d'insatisfaction ?

L'aborder en cours d'informatique

Quelques exemples de sources d'insatisfaction :

Sources d'insatisfaction ?

L'aborder en cours d'informatique

Quelques exemples de sources d'insatisfaction :

- L'enseignant·e ne se sent pas légitime

Sources d'insatisfaction ?

L'aborder en cours d'informatique

Quelques exemples de sources d'insatisfaction :

- L'enseignant·e ne se sent pas légitime
- Le lien avec l'informatique comme discipline n'est pas bien défini

Sources d'insatisfaction ?

L'aborder en cours d'informatique

Quelques exemples de sources d'insatisfaction :

- L'enseignant·e ne se sent pas légitime
- Le lien avec l'informatique comme discipline n'est pas bien défini
- L'enseignant·e manque d'informations

Sources d'insatisfaction ?

L'aborder en cours d'informatique

Quelques exemples de sources d'insatisfaction :

- L'enseignant·e ne se sent pas légitime
- Le lien avec l'informatique comme discipline n'est pas bien défini
- L'enseignant·e manque d'informations
- Il est difficile de mettre en place un curriculum cohérent

Une grille de lecture des enjeux

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

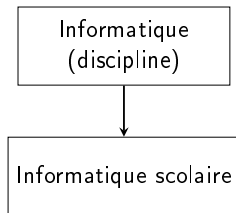
Une grille de lecture des enjeux

Informatique
(discipline)

| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

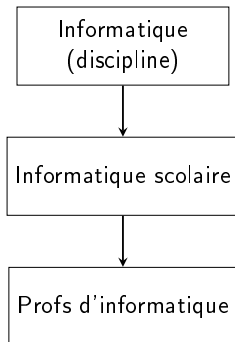
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

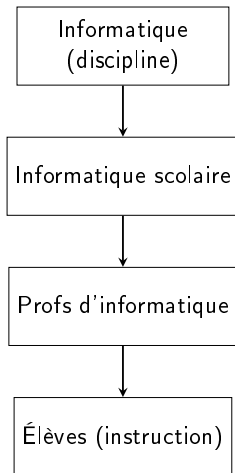
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

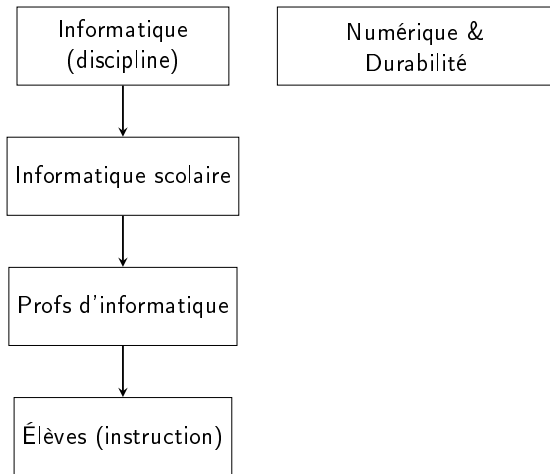
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

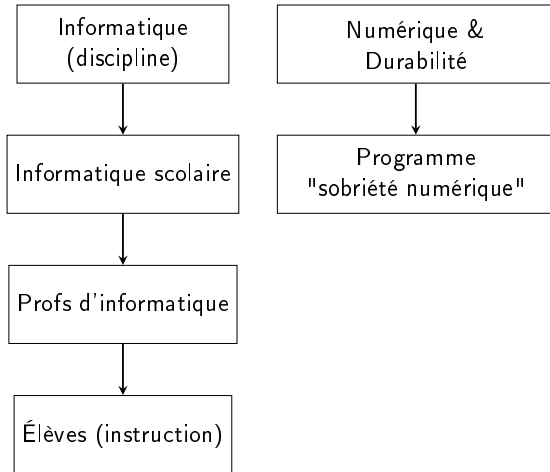
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

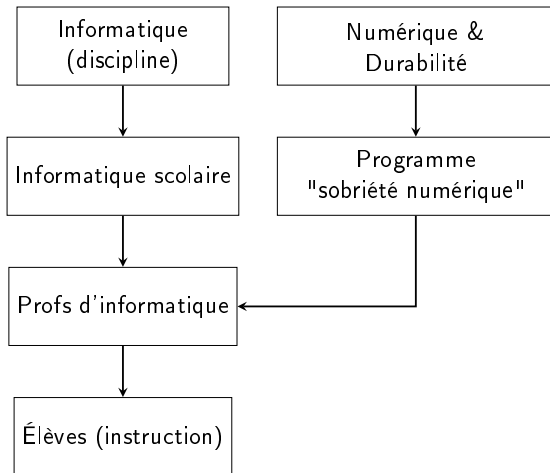
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

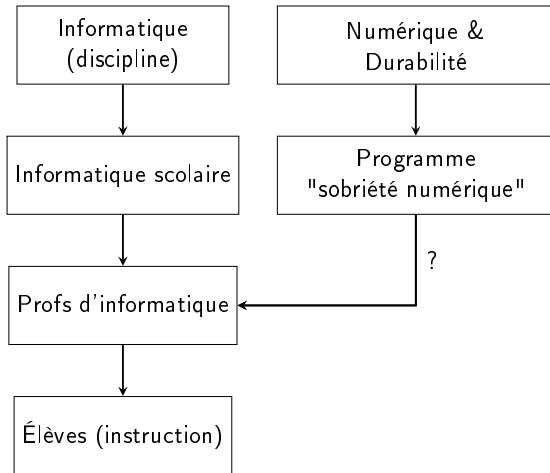
Une grille de lecture des enjeux



| Chevallard, 1982

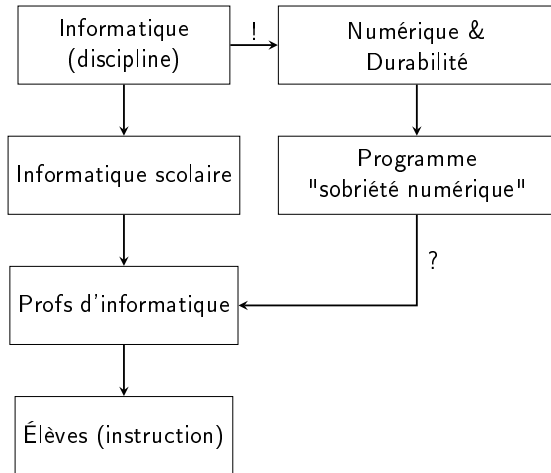
Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

Une grille de lecture des enjeux



Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

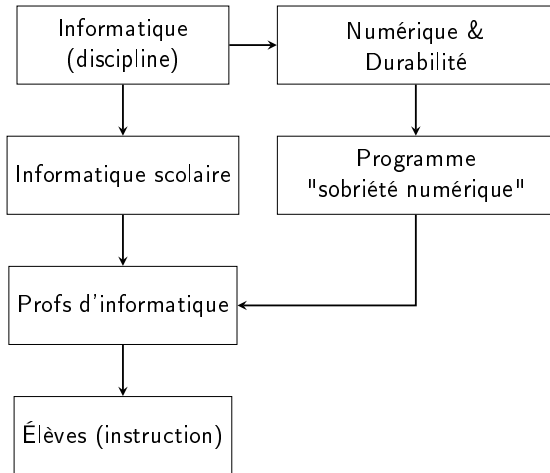
Une grille de lecture des enjeux



| Voir par exemple Hilty et Aebischer, 2015

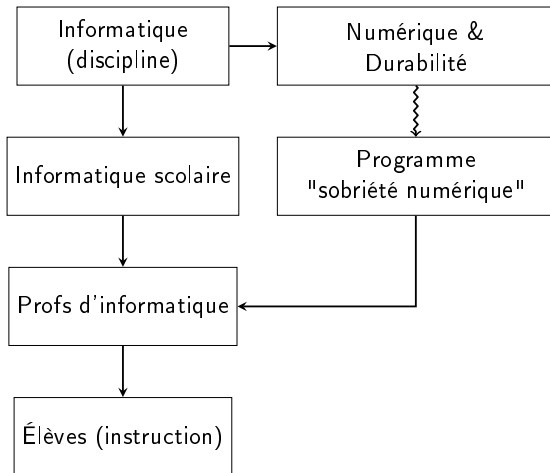
Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

Une grille de lecture des enjeux



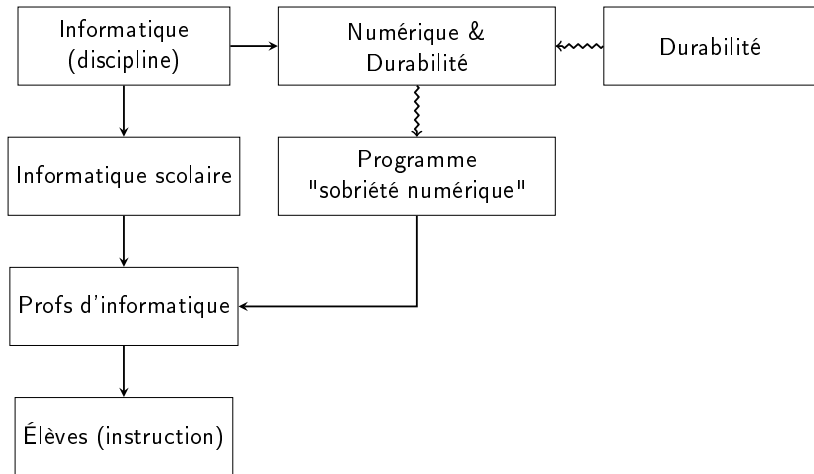
Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

Une grille de lecture des enjeux



Transposer des savoirs - un processus pas bien évident

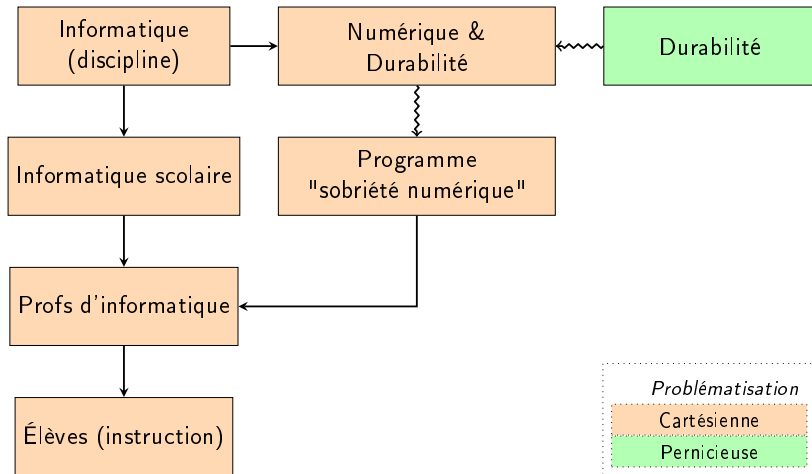
Une grille de lecture des enjeux



| Voir par exemple de Goër et Quinton, 2025

Différentes problématisations

Une grille de lecture des enjeux



| Voir par exemple de Goër et Quinton, 2025

Stop !

Une grille de lecture des enjeux

Ok là ça commence à devenir incontrôlable...

Du coup on fait quoi ?

Décentrement et proposition de posture alternative

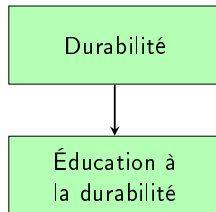
Une grille de lecture des enjeux

Durabilité

| Barthes, 2022 ; Varcher, 2011

Décentrement et proposition de posture alternative

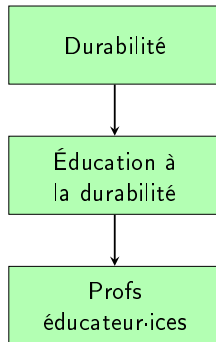
Une grille de lecture des enjeux



| Barthes, 2022 ; Varcher, 2011

Décentrement et proposition de posture alternative

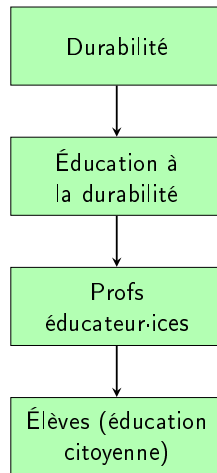
Une grille de lecture des enjeux



| Barthes, 2022 ; Varcher, 2011

Décentrement et proposition de posture alternative

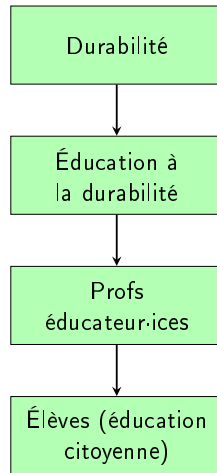
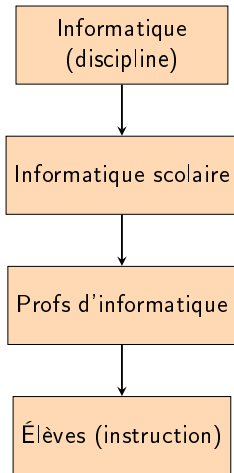
Une grille de lecture des enjeux



| Barthes, 2022 ; Varcher, 2011

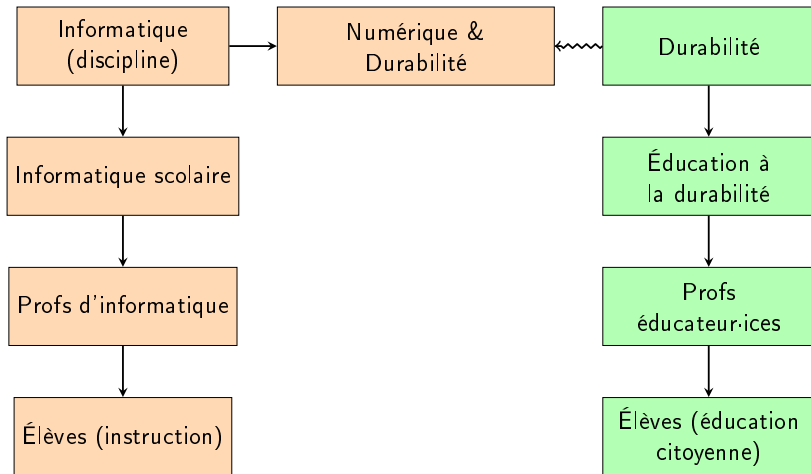
Décentrement et proposition de posture alternative

Une grille de lecture des enjeux



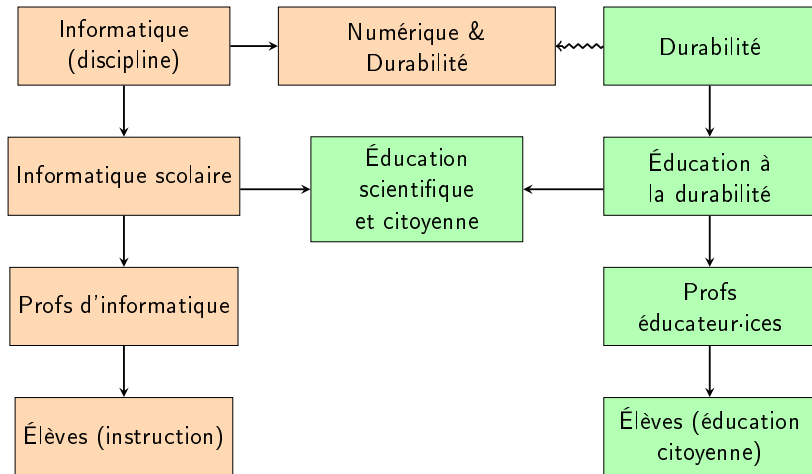
Décentrement et proposition de posture alternative

Une grille de lecture des enjeux



Décentrement et proposition de posture alternative

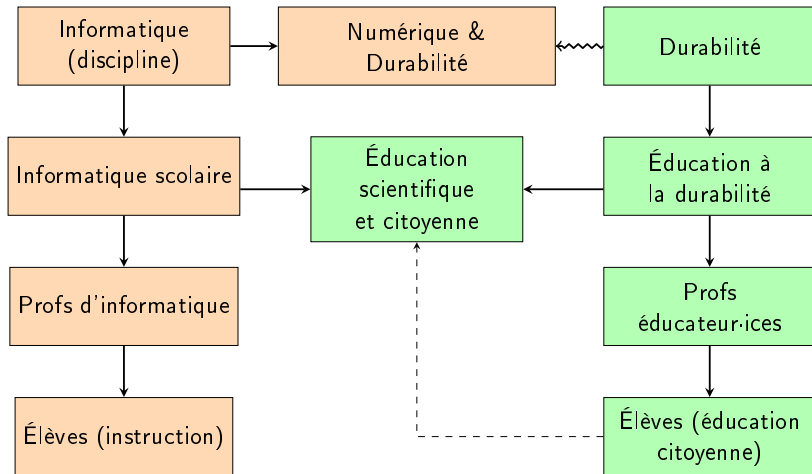
Une grille de lecture des enjeux



| Morin, 2018

Décentrement et proposition de posture alternative

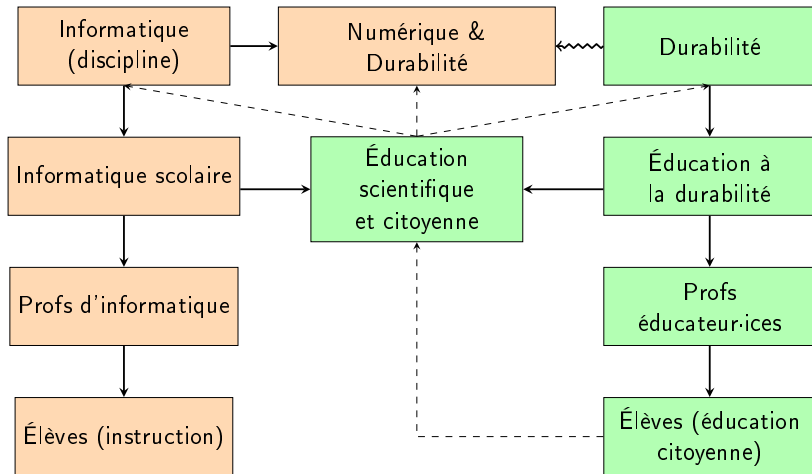
Une grille de lecture des enjeux



| Hervé et al., 2022

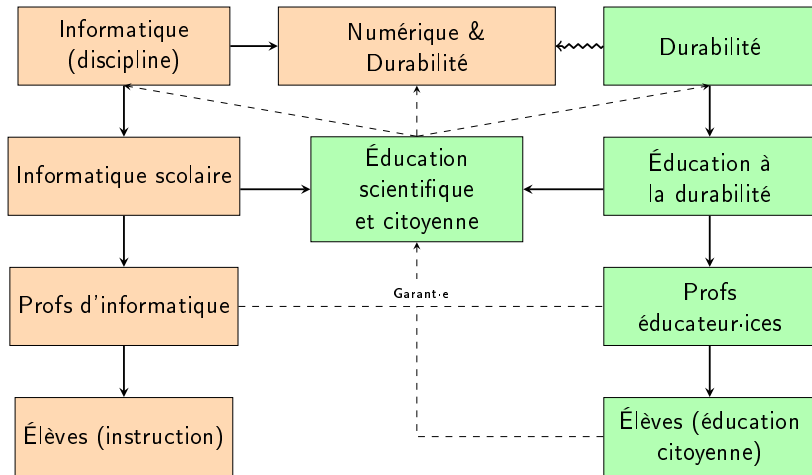
Décentrement et proposition de posture alternative

Une grille de lecture des enjeux



| Hervé et al., 2022

Décentrement et proposition de posture alternative



| Beitone et Hemdane, 2018

En résumé

Une grille de lecture des enjeux

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident

En résumé

Une grille de lecture des enjeux

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident
- On peut voir cette difficulté comme un problème de *transposition didactique* (difficulté à faire "descendre" les savoirs)

En résumé

Une grille de lecture des enjeux

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident
- On peut voir cette difficulté comme un problème de *transposition didactique* (difficulté à faire "descendre" les savoirs)
- Cette difficulté peut-être expliquée par différents facteurs, notamment par des limites dans les savoirs de référence, et par l'aspect « pernicieux » des enjeux.

En résumé

Une grille de lecture des enjeux

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident
- On peut voir cette difficulté comme un problème de *transposition didactique* (difficulté à faire "descendre" les savoirs)
- Cette difficulté peut-être expliquée par différents facteurs, notamment par des limites dans les savoirs de référence, et par l'aspect « pernicieux » des enjeux.
- Piste de solution : une démarche d'éducation par *l'enquête* dans une double perspective d'éducation citoyenne et d'appropriation des savoirs disciplinaires

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident
- On peut voir cette difficulté comme un problème de *transposition didactique* (difficulté à faire "descendre" les savoirs)
- Cette difficulté peut-être expliquée par différents facteurs, notamment par des limites dans les savoirs de référence, et par l'aspect « pernicieux » des enjeux.
- Piste de solution : une démarche d'éducation par *l'enquête* dans une double perspective d'éducation citoyenne et d'appropriation des savoirs disciplinaires
- Ces démarches sont étudiées en didactique des *questions socialement vives* (QSV)

- Transmettre les savoirs sur les enjeux de durabilité liés au numérique ce n'est pas évident
- On peut voir cette difficulté comme un problème de *transposition didactique* (difficulté à faire "descendre" les savoirs)
- Cette difficulté peut-être expliquée par différents facteurs, notamment par des limites dans les savoirs de référence, et par l'aspect « pernicieux » des enjeux.
- Piste de solution : une démarche d'éducation par *l'enquête* dans une double perspective d'éducation citoyenne et d'appropriation des savoirs disciplinaires
- Ces démarches sont étudiées en didactique des *questions socialement vives* (QSV)
- Cette didactique est différente de la didactique à laquelle sont habitués les enseignant·es d'informatique

Enjeux de durabilité liés au numérique

Enjeux de durabilité liés au numérique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Première approche : la quantification des effets directs

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

- Première intuition : fabriquer et utiliser des PC, ça pollue

Première approche : la quantification des effets directs

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

- Première intuition : fabriquer et utiliser des PC, ça pollue
- Méthodologie : l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

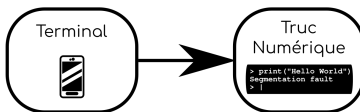
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



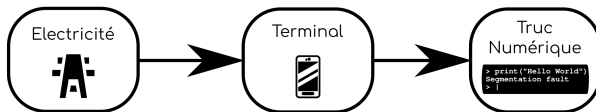
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



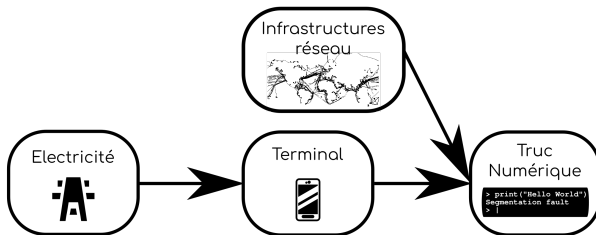
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



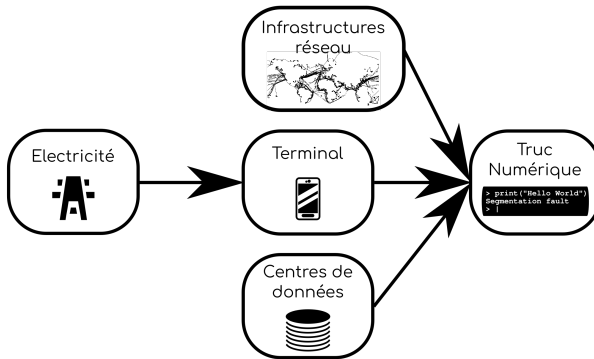
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



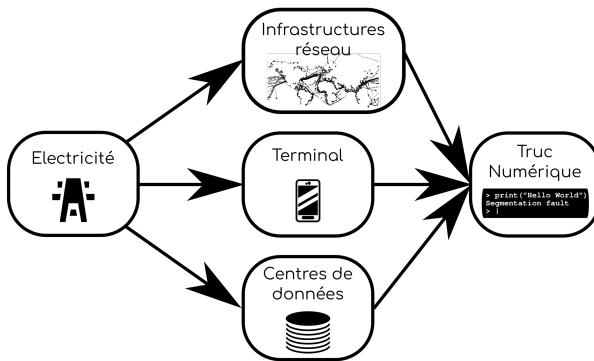
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



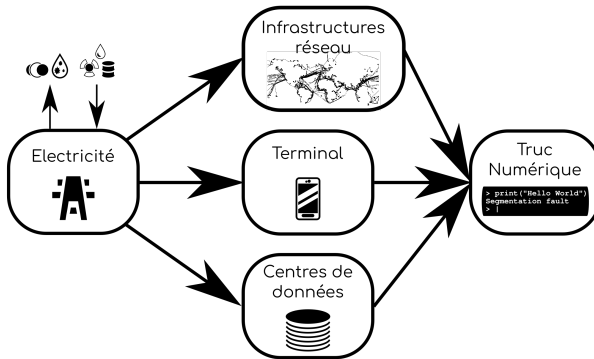
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



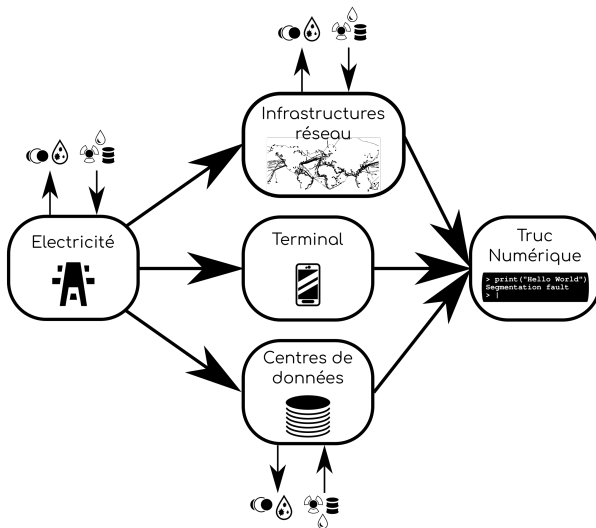
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



L'approche par la quantification - Effets directs - ACV logiciel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



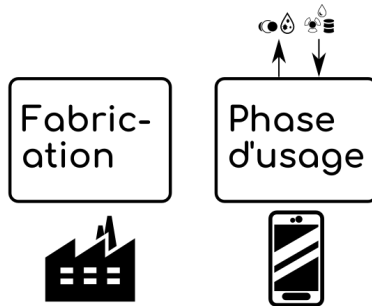
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



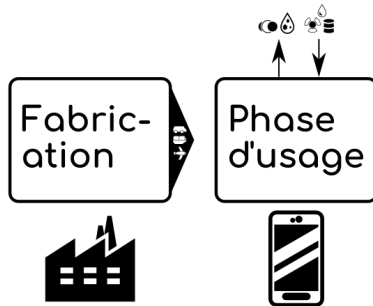
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



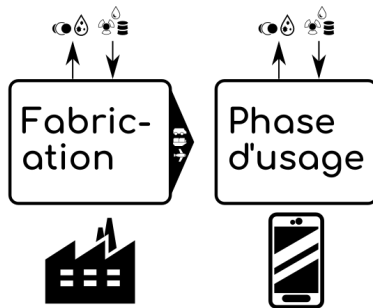
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



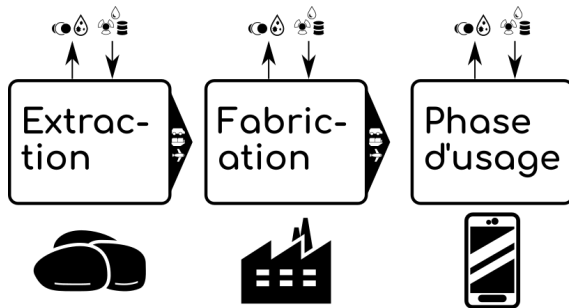
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



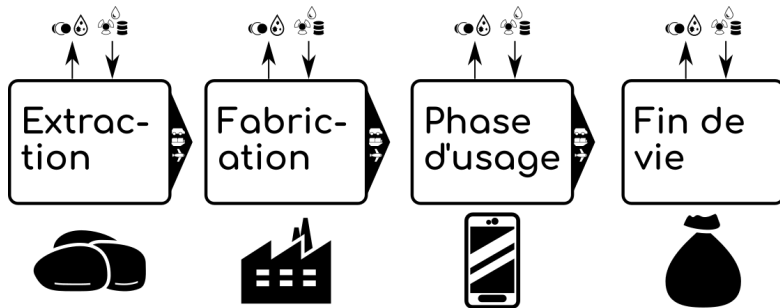
L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



L'approche par la quantification - Effets directs - ACV matériel

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique



L'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'analyse de cycle de vie est donc :

-
2. Normée ITU L.1410 pour le numérique spécifiquement.
 3. Il existe aussi l'ACV conséquentielle, mais elle est bien moins courante et plus complexe à mettre en place

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'analyse de cycle de vie est donc :

- Une méthode d'évaluation quantifiée des impacts environnementaux d'un produit (bien, service)
- Normée (ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006)²
- Multi-critères (GES, eau, ressources abiotiques, pollutions, usage des sols, ...) et multi-étapes (extraction, fabrication, usage, fin de vie, ...)

2. Normée ITU L.1410 pour le numérique spécifiquement.

3. Il existe aussi l'ACV conséquentielle, mais elle est bien moins courante et plus complexe à mettre en place

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'analyse de cycle de vie est donc :

- Une méthode d'évaluation quantifiée des impacts environnementaux d'un produit (bien, service)
- Normée (ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006)²
- Multi-critères (GES, eau, ressources abiotiques, pollutions, usage des sols, ...) et multi-étapes (extraction, fabrication, usage, fin de vie, ...)
- Une méthodologie d'attribution³ : quelle est la juste part des impacts environnementaux imputable à mon produit ?

2. Normée ITU L.1410 pour le numérique spécifiquement.

3. Il existe aussi l'ACV conséquentielle, mais elle est bien moins courante et plus complexe à mettre en place

Effets directs : quelques conclusions

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Quelques conclusions sur les effets directs du numérique :

- À l'échelle globale : le secteur numérique à l'échelle globale représente entre 2% et 4% des émissions de GES mondiales (Freitag et al., 2021)

4. Voir cependant le travail de l'association Boavizta : <https://www.boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur>



Effets directs : quelques conclusions

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Quelques conclusions sur les effets directs du numérique :

- À l'échelle globale : le secteur numérique à l'échelle globale représente entre 2% et 4% des émissions de GES mondiales (Freitag et al., 2021)
- L'ACV de services numériques est difficile à mettre en place, notamment à cause du manque de données disponibles, des hypothèses nécessaires, et de la forte multifonctionnalité des technologies numériques.

4. Voir cependant le travail de l'association Boavizta : <https://www.boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur>



Quelques conclusions sur les effets directs du numérique :

- À l'échelle globale : le secteur numérique à l'échelle globale représente entre 2% et 4% des émissions de GES mondiales (Freitag et al., 2021)
- L'ACV de services numériques est difficile à mettre en place, notamment à cause du manque de données disponibles, des hypothèses nécessaires, et de la forte multifonctionnalité des technologies numériques.
- L'ACV de matériel numérique est fournie par les constructeurs et généralement non comparable⁴.

4. Voir cependant le travail de l'association Boavizta : <https://www.boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur>

Deuxième approche : la quantification des effets indirects

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'intuition suivante consiste à se dire que le numérique a des effets plus larges sur l'environnement, par exemple :

Deuxième approche : la quantification des effets indirects

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'intuition suivante consiste à se dire que le numérique a des effets plus larges sur l'environnement, par exemple :

- Par le fait qu'il se substitue à des pratiques polluantes

Deuxième approche : la quantification des effets indirects

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'intuition suivante consiste à se dire que le numérique a des effets plus larges sur l'environnement, par exemple :

- Par le fait qu'il se substitue à des pratiques polluantes
- Par le fait qu'il change nos habitudes de consommation

Deuxième approche : la quantification des effets indirects

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

L'intuition suivante consiste à se dire que le numérique a des effets plus larges sur l'environnement, par exemple :

- Par le fait qu'il se substitue à des pratiques polluantes
- Par le fait qu'il change nos habitudes de consommation
- Par les effets rebond qu'il génère
- ...

L'approche par la quantification - Effets indirects - Taxonomies

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

type	périmètre	effet		exemples
1^{er} ordre direct	technologies elles-mêmes	impacts du cycle de vie		énergie grise / consommation électrique d'un ordinateur
2^{ème} ordre indirect	applications	optimisation	substitution	smart-*/ dématérialisation
		obsolescence	induction	bureautique / imprimante → + de papier
3^{ème} ordre structurel	sous-partie de l'économie	rebond direct		km covoiturés sont moins chers → + de km
		rebond indirect		covoiturage → économies → + de km avion
	économie	croissance économique		baisse gén. des coûts / création économ.
		accélération		mondialisation des échanges / financiarisation de l'économie
	société	transformation sociétale		télétravail → éloignement du logement

Figure – Exemple de taxonomie d'effets indirects

Source : Jacques Combaz, adapté de (Horner, Shehabi et Azevedo, 2016)
 Modèle de référence : LES (Lifecycle, Enabling, Structural) (Hilty et Aebischer, 2015).

L'approche par la quantification - Limites et incertitudes

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Des connaissances encore assez balbutiantes (Roussilhe, Ligozat et Quinton, 2023)

L'approche par la quantification - Limites et incertitudes

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Des connaissances encore assez balbutiantes (Roussilhe, Ligozat et Quinton, 2023)

- Des savoirs controversés

Exemple

L'évolution future des émissions de GES des infrastructures numérique : en hausse ou à la stabilisation ?

L'approche par la quantification - Limites et incertitudes

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Des connaissances encore assez balbutiantes (Roussilhe, Ligozat et Quinton, 2023)

- Des savoirs controversés

Exemple

L'évolution future des émissions de GES des infrastructures numérique : en hausse ou à la stabilisation ?

- Des points aveugles

Exemple

Les enjeux liés à l'eau.

L'approche par la quantification - Limites et incertitudes

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Des connaissances encore assez balbutiantes (Roussilhe, Ligozat et Quinton, 2023)

- Des savoirs controversés

Exemple

L'évolution future des émissions de GES des infrastructures numérique : en hausse ou à la stabilisation ?

- Des points aveugles

Exemple

Les enjeux liés à l'eau.

- Des difficultés méthodologiques

Exemple

Les effets rebond : comment les analyser et dans quelle mesure ces changements sont-ils imputables au numérique ?

L'approche par la quantification - Conclusion pour l'enseignement

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Si on reprend certaines sources d'insatisfaction qui peuvent apparaître chez les enseignant·es sur ces sujets-là :

- L'enseignant·e manque d'informations : il n'existe pas de corpus solide et stabilisé sur le sujet
- L'enseignant·e ne se sent pas légitime : ces connaissances font appel à des savoirs spécialisés
- Le lien avec l'informatique comme discipline n'est pas bien défini : à moins de faire soi-même une ACV
- Il est difficile de mettre en place un curriculum cohérent : les taxonomies ne sont pas vraiment bien stabilisées

Troisième approche : la systémique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Une manière de dépasser ces taxonomies d'effets, c'est de chercher à *analyser les conséquences de l'insertion d'une technologie dans un système*, ce qui permet de penser :

Troisième approche : la systémique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Une manière de dépasser ces taxonomies d'effets, c'est de chercher à *analyser les conséquences de l'insertion d'une technologie dans un système*, ce qui permet de penser :

- des effets non-linéaires (boucles de rétroaction)

Troisième approche : la systémique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Une manière de dépasser ces taxonomies d'effets, c'est de chercher à *analyser les conséquences de l'insertion d'une technologie dans un système*, ce qui permet de penser :

- des effets non-linéaires (boucles de rétroaction)
- des comportements émergents

Troisième approche : la systémique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Une manière de dépasser ces taxonomies d'effets, c'est de chercher à *analyser les conséquences de l'insertion d'une technologie dans un système*, ce qui permet de penser :

- des effets non-linéaires (boucles de rétroaction)
- des comportements émergents
- d'éviter le réductionnisme
- ...

L'approche par la systémique

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Anticiper le système dans lequel s'insère la technologie (Bornes, Letondal et Vingerhoeds, 2022).

notion	hard systems thinking	soft systems thinking
system	the system to be designed	any existing system
socio-technical system	humans and artifacts organised to design, produce and/or operate a system	general description of an organisation of humans and artefacts
complexity	complexity of the solution	complexity of the problem
	aims to master the complexity	aims to appreciate the complexity
emergence	(designed) function/property of the overall system that cannot be attributed to its parts	(observed) emergence in the process of inquiry
model	describes the real world	helps us appreciate the real world
feedback loop	in the system to be designed	in the process of inquiry

Figure – Deux grands types de pensée systémique

L'approche par la systémique - Exemple

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

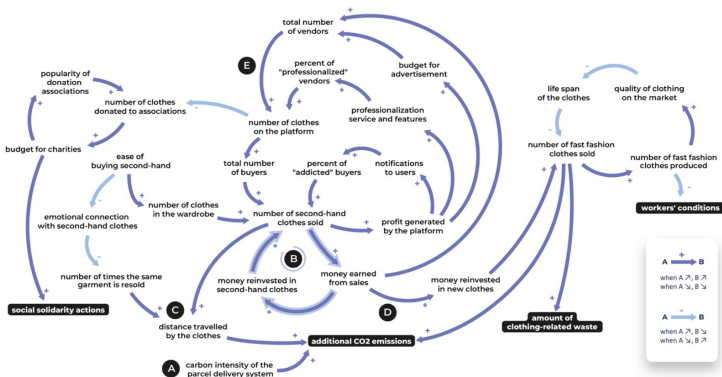


Figure – Exemple : L'application Vinted

Source : (Ekchajzer et al., 2024)

En terme éducatif :

- Il peut être intéressant d'amener les élèves à réfléchir de manière systémique⁵
- Mais ça suppose d'être un peu au clair épistémologiquement sur ce qu'on est en train de faire

5. Par exemple à l'aide de diagrammes de boucles causales :

<https://ncase.me/loopy/>

En terme éducatif :

- Il peut être intéressant d'amener les élèves à réfléchir de manière systémique⁵
- Mais ça suppose d'être un peu au clair épistémologiquement sur ce qu'on est en train de faire

Et plus généralement, **la systémique appelle à penser la complexité en multipliant les points de vue sur un même sujet.**

5. Par exemple à l'aide de diagrammes de boucles causales :

<https://ncase.me/loopy/>

D'autres approches davantage issue des sciences sociales

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Les approches par les sciences sociales dont je parle ici (autour du numérique) :

- Ne cherchent ni à concevoir les technologies ni à quantifier leur impact
- Vont observer les comportements humains réels autour des technologies : d'où elles proviennent, où elles arrivent, les comportements qu'elles vont générer, les structures sociales qu'elles reconfigurent, dans lesquelles elles sont produites, ...

D'autres approches davantage issue des sciences sociales

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Les approches par les sciences sociales dont je parle ici (autour du numérique) :

- Ne cherchent ni à concevoir les technologies ni à quantifier leur impact
- Vont observer les comportements humains réels autour des technologies : d'où elles proviennent, où elles arrivent, les comportements qu'elles vont générer, les structures sociales qu'elles reconfigurent, dans lesquelles elles sont produites, ...
- Viennent essentiellement d'un sous-domaine des sciences sociales qui s'appellent les Science and Technology Studies (STS) : Bonneuil, 2013

Une **controverse** est :

- une situation dans laquelle un **différend/désaccord** entre **plusieurs parties** – chaque partie engageant des savoirs spécialisés et aucune ne parvenant à imposer des certitudes – est mis en scène devant un tiers ;
- caractérisée par un **enchevêtrement d'enjeux** variés, de **faits** et de **valeurs** ainsi que par le fait que s'y jouent simultanément une définition de la **technique** et du **social**.

(Controverses mode d'emploi 2021)

L'approche par les controverses

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

Exemples de controverses touchant à la matérialité du numérique

- L'implantation de centres de données en Seine-Saint-Denis (Carnino et Marquet, 2018)
- L'implantation d'un câble sous-marin à Marseille (Cellard et Marquet, 2023)
- Les centres de données à Marseille ^a
- L'extension de STMicroelectronics à Grenoble ^b
- L'implantation d'une antenne 5G en territoire de montagne à Sixt-Fer-à-Cheval ^c

a. Voir les prises de position du collectif *Le nuage était sous nos pieds* : <https://www.laquadrature.net/2024/11/20/accaparement-du-territoire-par-les-infrastructures-du-numerique/>

b. Voir les prises de position du collectif *StopMicro* : <https://stopmicro38.noblogs.org/>

c. Voir la pétition du collectif *Giffre en Transition* : <https://www.change.org/p/pour-une-concertation-sur-le-projet-d-antenne-5g-de-49-50m-a-sixt-fer-a-cheval>

En conclusion

- Les controverses sont un point d'entrée intéressant pour comprendre (1) la diversité de points de vue autour d'un sujet, (2) les enjeux associés, (3) la conflictualité qui en découle
- La cartographie des controverses est une méthode pédagogique qui a fait ses preuves⁶, mais qui est très éloignée de la didactique habituelle des informaticien·nes.

6. Voir <https://controverses.org/mode-demploi/> et https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-04146623v1/file/IMT_doc-controverses_int_A4_page-a-page.pdf

En résumé

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé on a vu 4 approches des enjeux de durabilité liés au numérique : les effets directs, les taxonomies d'effets, la systémique et les controverses socio-techniques.

En résumé

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé on a vu 4 approches des enjeux de durabilité liés au numérique : les effets directs, les taxonomies d'effets, la systémique et les controverses socio-techniques.

Aucune ne donne de prise vraiment facile en terme d'enseignement.

En résumé

Étudier les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé on a vu 4 approches des enjeux de durabilité liés au numérique : les effets directs, les taxonomies d'effets, la systémique et les controverses socio-techniques.

Aucune ne donne de prise vraiment facile en terme d'enseignement.

Du point de vue des informaticien·nes, se pose la question de la conception. Il existe des méthodes de conception tirées par les valeurs (par ex. du côté de l'IHM le *Value Sensitive Design*).

Enjeux de durabilité liés au numérique

Enjeux de durabilité : approfondissement

Une diversité de façons de voir la durabilité

Enjeux de durabilité : approfondissement

« [Une société] durable est [une société] qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

Une diversité de façons de voir la durabilité

Enjeux de durabilité : approfondissement

« [Une société] durable est [une société] qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

- Cette définition dit beaucoup...

Exemple d'approches alternatives

Approches eco-centrées, par ex. considérant les non-humain·es comme des fins et non uniquement des moyens (Latour, 1995).

Une diversité de façons de voir la durabilité

Enjeux de durabilité : approfondissement

« [Une société] durable est [une société] qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

- Cette définition dit beaucoup...

Exemple d'approches alternatives

Approches eco-centrées, par ex. considérant les non-humain·es comme des fins et non uniquement des moyens (Latour, 1995).

- ...et dit peu

Quelques exemples d'éléments qu'il reste à déterminer

De quels besoins parle-t-on ? Dans quelle société ? Comment gérer la répartition des ressources ? Qui décide ? ...

Une diversité de façons de voir la durabilité

Enjeux de durabilité : approfondissement

« [Une société] durable est [une société] qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

- Cette définition dit beaucoup...

Exemple d'approches alternatives

Approches eco-centrées, par ex. considérant les non-humain·es comme des fins et non uniquement des moyens (Latour, 1995).

- ...et dit peu

Quelques exemples d'éléments qu'il reste à déterminer

De quels besoins parle-t-on ? Dans quelle société ? Comment gérer la répartition des ressources ? Qui décide ? ...

Choisir la société "durable" visée dépend des connaissances scientifiques, mais également de valeurs, d'intérêts situés, de rapport à l'incertitude, ...

Enjeux de durabilité liés au numérique

Problématiser les enjeux de durabilité liés au numérique

Problématiser les enjeux de durabilité liés au numérique

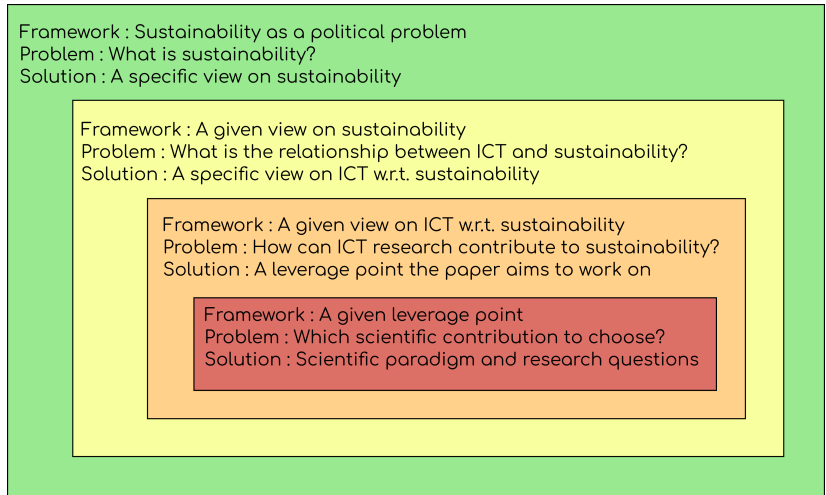


Figure – Un processus de problématisation pour la recherche en informatique et durabilité

Source : (de Goër et Quinton, 2025) (en cours de publication)

Enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé

- **Il existe beaucoup de manières d'aborder les enjeux de durabilité liés au numérique...**, pour des raisons
 - Pratiques : Manque de données, compétences des chercheur·ses, leviers d'action, ...
 - Méthodologiques : Comment analyser les types d'effets ?
 - Épistémologiques : Quantification d'effets VS Systémique VS Sciences sociales
 - De définition : qu'est ce que la durabilité ?
 - De vision du souhaitable : quelle société vise-t-on ?
 - De rapport à la prudence
 - ...

- **Il existe beaucoup de manières d'aborder les enjeux de durabilité liés au numérique...**, pour des raisons
 - Pratiques : Manque de données, compétences des chercheur·ses, leviers d'action, ...
 - Méthodologiques : Comment analyser les types d'effets ?
 - Épistémologiques : Quantification d'effets VS Systémique VS Sciences sociales
 - De définition : qu'est ce que la durabilité ?
 - De vision du souhaitable : quelle société vise-t-on ?
 - De rapport à la prudence
 - ...
- **...qui posent des difficultés dans le cadre de leur enseignement**
 - Manque d'un socle solide de connaissances
 - Nécessite de travailler en interdisciplinarité
 - Touche à des valeurs, à des intérêts, ...
 - ...

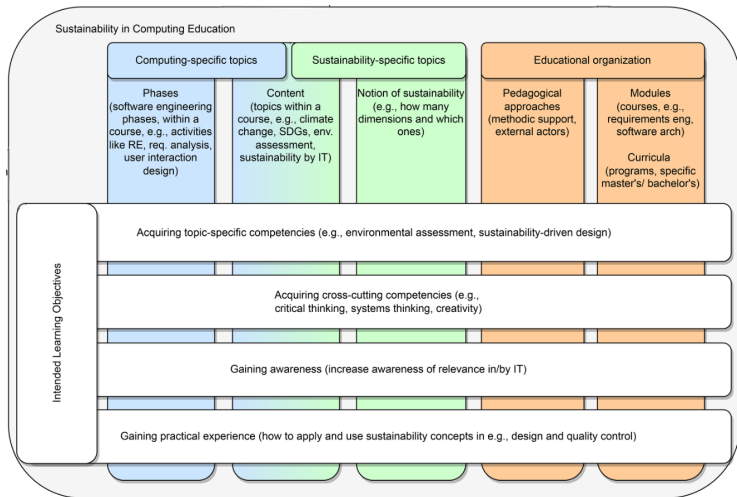
Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

Ce qui existe (à ma connaissance)

Synthèse de ce qui se fait dans le supérieur

Ce qui existe (à ma connaissance)



Source : (Peters et al., 2024)

Quelques ressources qui existent pour le secondaire

Ce qui existe (à ma connaissance)

- Mooc Impacts environnementaux du numérique⁷ (V2 en cours de préparation)
- Le travail de Sara Descamps sur Educonetimpact⁸
- Un ensemble de jeux sérieux, par exemple PhoneImpact⁹

7. <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/impacts-environnementaux-du-numerique/>

8. <https://www.educonetimpact.com/>

9. <https://learninglab.gitlabpages.inria.fr/serious-game/smartphone/index.html>

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

Questions Socialement Vives (QSV), numérique et durabilité

Question Socialement Vive : Définition

Questions Socialement Vives (QSV), numérique et durabilité

Une QSV est un objet de controverse qu'on cherche à enseigner en milieu scolaire. Ces questions sont considérées comme vives en 3 sens. (1) Elles sont **vives dans la société** : elles sont considérées comme un enjeu politique. (2) Elles sont **vives dans les savoirs de référence** : il n'y a pas de consensus parmi les expert·es du domaine. (3) Elles sont **vives dans les savoirs scolaires** : elles mettent en difficulté les processus didactiques habituels et les enseignant·es. (Legardez, 2006)

Question Socialement Vive : Définition

Questions Socialement Vives (QSV), numérique et durabilité

Une QSV est un objet de controverse qu'on cherche à enseigner en milieu scolaire. Ces questions sont considérées comme vives en 3 sens. (1) Elles sont **vives dans la société** : elles sont considérées comme un enjeu politique. (2) Elles sont **vives dans les savoirs de référence** : il n'y a pas de consensus parmi les expert·es du domaine. (3) Elles sont **vives dans les savoirs scolaires** : elles mettent en difficulté les processus didactiques habituels et les enseignant·es. (Legardez, 2006)

Donc double-dimension (Beitone, 2004) :

- Controverse autour du rapport au vrai
- Controverse autour du rapport au juste

- Dans les savoirs de référence : cf conclusion de la partie précédente

- Dans les savoirs de référence : cf conclusion de la partie précédente
- Dans la société : cf les exemples de controverses citées précédemment

- Dans les savoirs de référence : cf conclusion de la partie précédente
- Dans la société : cf les exemples de controverses citées précédemment
- Dans les savoirs scolaires : cf la motivation initiale de cette recherche

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

La problématisation

Vision *cartésienne* du problème (Fabre, 2021) :

« Un problème qui est a) parfaitement déterminable ; b) soluble ; c) ceci, selon une démarche de résolution explicitable, quelquefois même réductible à un algorithme ; d) sa ou ses solutions se révélant évaluables selon des critères objectifs ou du moins objectivables. »

Des problèmes cartésiens aux problèmes pernicioeux

La problématisation

D'autres types de problèmes

	<i>Problème mal structuré</i>	<i>Problème flou</i>	<i>Problème pernicieux</i>	<i>Problème super-pernicieux</i>
<i>Exemples</i>	Conception architecturale artistique	Aménagement du territoire	Réformes politiques, sociales	Changement climatique, gestion d'une pandémie
<i>Polysémie</i>	x	x	xx	xxx
<i>Conflictualité</i>		x	xx	xxx
<i>Complexité</i>	x	x	xx	xxx
<i>Temporalité critique</i>			x	xxx
<i>Ouverture</i>	x	x	xx	xxx

(-)  (+)

Axe de problématique croissante

Figure – Différents types de problèmes, tiré de (Fabre, 2021)

- Issu plutôt de la didactique des mathématiques (par ex. la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1997))
- Une didactique de la résolution de problèmes (problème à résoudre comme outil pour amener l'élève à réfléchir)
- Notions d'algorithme Outil (de résolution de problème) et Objet (d'étude) (Modeste, 2020)

- Issu plutôt de la didactique des mathématiques (par ex. la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1997))
- Une didactique de la résolution de problèmes (problème à résoudre comme outil pour amener l'élève à réfléchir)
- Notions d'algorithme Outil (de résolution de problème) et Objet (d'étude) (Modeste, 2020)

Exemple : La recherche dichotomique

- Problème : on cherche une valeur dans une liste triée
- Solution : position de la valeur recherchée dans la liste (réponse unique déterministe)
- Résolution : pleins d'algorithmes possibles (que les élèves vont probablement tester dans un premier temps)
- But final : amener l'élève à se questionner sur comment résoudre le problème efficacement et à se convaincre que ça marche

- Une première intuition : le Computational thinking
- Problématiser comme définition des entrées et sorties attendues
- Il existe des exemples de didactique par la problématisation en mathématiques (Hersant, 2022)
- En informatique, certaines activités débranchées semblent se rapprocher de ce type de didactique

- Une première intuition : le Computational thinking

Computational Thinking

« Computational thinking is the mental skills and practices for designing computations that get computers to do jobs for us, and for explaining and interpreting the world in terms of information processes. » (Denning et Tedre, 2021)

- Problématiser comme définition des entrées et sorties attendues
- Il existe des exemples de didactique par la problématisation en mathématiques (Hersant, 2022)
- En informatique, certaines activités débranchées semblent se rapprocher de ce type de didactique

Construire le problème en informatique

La problématisation

- Une première intuition : le Computational thinking
- Problématiser comme définition des entrées et sorties attendues

Exemples de problématisation en algorithmique

- En algorithmique, définir les spécifications de l'algorithme (propriétés des entrées, propriétés des sorties, ...)
 - En apprentissage automatique, définir la ground truth (Jaton, 2022)
-
- Il existe des exemples de didactique par la problématisation en mathématiques (Hersant, 2022)
 - En informatique, certaines activités débranchées semblent se rapprocher de ce type de didactique

- Une première intuition : le Computational thinking
- Problématiser comme définition des entrées et sorties attendues
- Il existe des exemples de didactique par la problématisation en mathématiques (Hersant, 2022)
- En informatique, certaines activités débranchées semblent se rapprocher de ce type de didactique

Une problématisation qui reste sur des problèmes cartésiens.

Problématiser une QSV

La problématisation

Il est délicat de s'appuyer sur une didactique de résolution de problèmes quand ils sont flous, voire pernicious.

Problématiser une QSV

La problématisation

Il est délicat de s'appuyer sur une didactique de résolution de problèmes quand ils sont flous, voire pernicieux.

Mais il ne s'agit pas non plus d'une problématisation sur problème cartésien comme en informatique...

Problématiser une QSV

La problématisation

Il est délicat de s'appuyer sur une didactique de résolution de problèmes quand ils sont flous, voire pernicioeux.

Mais il ne s'agit pas non plus d'une problématisation sur problème cartésien comme en informatique...

Il s'agit plutôt d'explorer les différentes dimensions du problème (Polysémie, Complexité, Conflictualité, Ouverture, voire Spatio-temporalité critique) (Chauvigné et Fabre, 2023) dans une démarche d'enquête (Hervé et al., 2022).

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

Quelques pistes pour une telle approche

Il existe en didactique des QSV :

- Des méthodes pédagogiques par l'enquête plus ou moins génériques pour amener les élèves à construire un problème¹⁰ (Hervé et al., 2022 ; Chauvigné et Fabre, 2023).

10. Parfois inspirées de la cartographie des controverses citée précédemment.

Il existe en didactique des QSV :

- Des méthodes pédagogiques par l'enquête plus ou moins génériques pour amener les élèves à construire un problème¹⁰ (Hervé et al., 2022 ; Chauvigné et Fabre, 2023).
- Un ensemble d'outils pour amener les élèves à aborder une QSV en classe (débat, jeux de rôle, argumentation, ...). Beaucoup de ressources intéressantes sur <https://qsv.ensfea.fr>.

10. Parfois inspirées de la cartographie des controverses citée précédemment.

Il existe en didactique des QSV :

- Des méthodes pédagogiques par l'enquête plus ou moins génériques pour amener les élèves à construire un problème¹⁰ (Hervé et al., 2022 ; Chauvigné et Fabre, 2023).
- Un ensemble d'outils pour amener les élèves à aborder une QSV en classe (débats, jeux de rôle, argumentation, ...). Beaucoup de ressources intéressantes sur <https://qsv.ensfea.fr>.

On trouve une littérature similaire à l'international autour de la socio-scientific inquiry-based learning (SSIBL) (Levinson, 2018)

10. Parfois inspirées de la cartographie des controverses citée précédemment.

Issues de la didactique des QSV

Quelques pistes pour une telle approche

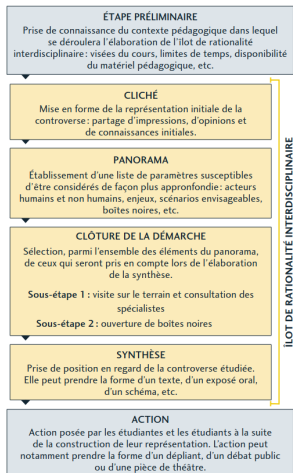


Figure – Exemple : Îlots de rationalité interdisciplinaires

Issues de l'enseignement de l'éthique de la technologie en cours d'informatique

Quelques pistes pour une telle approche

Quelques idées en vrac, principalement tirées de (Brown et al., 2024)

- Débats, lectures d'articles, écriture d'essais, jeux de rôle, vidéo, tribunal, jeux, présentations d'élèves, Q&A d'expert·e, ...
- Chercher à augmenter la diversité dans les classes
- Engagement dans des communautés locales, humanitarian free and open source software (donner du sens aux projets)
- Travail sur l'histoire des concepts pour mieux comprendre les enjeux sociaux qui les entourent
- Travail sur des imaginaires alternatifs
- Des TPs d'informatique pour amener des questionnements sur les biais, les finalités¹¹

11. Par exemple en faisant programmer par les élèves un algorithme d'admission à l'université ▶

Numérique et durabilité spécifiquement

Quelques pistes pour une telle approche

- Balades numériques pour appréhender la matérialité ¹²
- Travail sur les centres de données, les réseaux mobiles, ...
- Analyse des différents points de vue sur des controverses citées précédemment (étude de documents, jeux de rôle, débats, ...)
- Étude de l'histoire des technologies numériques (Brooks et al., 2024)
- Utilisation du numérique pour faire de la modélisation/visualisation ¹³ (ne questionne pas le numérique, mais peut amener des questions sur les modèles, ...)

12. Voir

<https://gauthierroussilhe.com/book/sciencespo/pdf/FBN-V1.pdf>

13. Par ex. <https://gitlab.inria.fr/abaucher/pydynamo>, ou bien

<http://nifty.stanford.edu/2023/schwarz-rising-tides/> 

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

Enjeux autour de l'approche par la problématisation

3 grands risques de dérives (Fabre, 2014 ; Fabre, 2024) :

3 grands risques de dérives (Fabre, 2014 ; Fabre, 2024) :

- La dérive technocratique

3 grands risques de dérives (Fabre, 2014 ; Fabre, 2024) :

- La dérive technocratique
- La dérive relativiste

3 grands risques de dérives (Fabre, 2014 ; Fabre, 2024) :

- La dérive technocratique
- La dérive relativiste
- La dérive du militantisme des bonnes pratiques

Pourquoi vouloir enseigner les impacts environnementaux du numérique ? Quels objectifs pédagogiques se cachent derrière ?

Objectifs pédagogiques (A. Bathes)

Problématisation sur question socialement vive

Angela Barthes (Barthes, 2022) propose une grille curriculaire en 4 balises :

Angela Barthes (Barthes, 2022) propose une grille curriculaire en 4 balises :

- Capacité à décoder la construction épistémologique des savoirs

Angela Barthes (Barthes, 2022) propose une grille curriculaire en 4 balises :

- Capacité à décoder la construction épistémologique des savoirs
- Capacité à reconnaître la multiréférentialité et la réalité des rapports sociaux

Angela Barthes (Barthes, 2022) propose une grille curriculaire en 4 balises :

- Capacité à décoder la construction épistémologique des savoirs
- Capacité à reconnaître la multiréférentialité et la réalité des rapports sociaux
- Capacité à problématiser d'un point de vue sociétal

Angela Barthes (Barthes, 2022) propose une grille curriculaire en 4 balises :

- Capacité à décoder la construction épistémologique des savoirs
- Capacité à reconnaître la multiréférentialité et la réalité des rapports sociaux
- Capacité à problématiser d'un point de vue sociétal
- Capacités à décoder les rapports de pouvoir et d'injustice

Différents modèles d'appropriation des savoirs scientifiques (Morin, 2018) :

Différents modèles d'appropriation des savoirs scientifiques (Morin, 2018) :

- Du/de la savant·e : connaissance stabilisée donnée

Différents modèles d'appropriation des savoirs scientifiques (Morin, 2018) :

- Du/de la savant·e : connaissance stabilisée donnée
- De l'expert·e : construction de la connaissance avec les élèves

Différents modèles d'appropriation des savoirs scientifiques (Morin, 2018) :

- Du/de la savant·e : connaissance stabilisée donnée
- De l'expert·e : construction de la connaissance avec les élèves
- Du/de la citoyen·ne éclairé·e : comprendre les controverses sociotechniques

Différents modèles d'appropriation des savoirs scientifiques (Morin, 2018) :

- Du/de la savant·e : connaissance stabilisée donnée
- De l'expert·e : construction de la connaissance avec les élèves
- Du/de la citoyen·ne éclairé·e : comprendre les controverses sociotechniques
- Du/de la citoyen·ne engagé·e : apport de valeurs éthiques (justice sociale, ...) et mise en action

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé

- On peut traiter les enjeux de durabilité liés au numérique comme une QSV
- Cela demande une didactique par la problématisation spécifique aux QSV (problèmes non-cartésiens)
- Cette didactique passe généralement par l'enquête sur des questions socio-techniques
- Il existe des pistes de manières de s'y prendre (génériques et spécifiques au sujet)

Enseigner les enjeux de durabilité liés au numérique

En résumé

- On peut traiter les enjeux de durabilité liés au numérique comme une QSV
- Cela demande une didactique par la problématisation spécifique aux QSV (problèmes non-cartésiens)
- Cette didactique passe généralement par l'enquête sur des questions socio-techniques
- Il existe des pistes de manières de s'y prendre (génériques et spécifiques au sujet)

Vers des objectifs pédagogiques spécifiques à l'enseignement des enjeux de durabilité liés au numérique ?

Conclusion

- Il est normal d'avoir du mal à s'approprier de ces enjeux (savoirs de référence en bazar)
- Ils ne touchent pas uniquement à des connaissances, mais aussi à des valeurs et des intérêts de parties prenantes
- J'argumente que la didactique de la problématisation sur QSV est prometteuse pour aborder ces sujets en classe

- Il est normal d'avoir du mal à s'approprier de ces enjeux (savoirs de référence en bazar)
- Ils ne touchent pas uniquement à des connaissances, mais aussi à des valeurs et des intérêts de parties prenantes
- J'argumente que la didactique de la problématisation sur QSV est prometteuse pour aborder ces sujets en classe

Quid des normes et des valeurs présentes dans l'informatique qui la rendent difficilement compatible avec un monde durable (voir par ex. Maraninchi, 2024) ?

Merci

Des questions ?

-  Barthes, Angela (2022). “Quels curricula d'éducation au politique dans les questions environnementales et de développement ?” In : *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE* 63.
-  Beitone, Alain (2004). “Enseigner des questions socialement vives. Note sur quelques confusions”. In : *7e biennale de l'éducation et de la formation. Lyon* 15.
-  Beitone, Alain et Estelle Hemdane (2018). “École, savoirs et valeurs : une tentative d'éclaircissement”. In : *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE* 48.
-  Bonneuil, Christophe (2013). *Sciences, techniques et société*. isbn : 9782707150974. doi : 10.3917/dec.bonne.2013.01.
-  Bornes, Laetitia, Catherine Letondal et Rob Vingerhoeds (2022). “Could systemic design methods support sustainable design of interactive systems ?” In : *Relating Systems thinking and Design* 11.
-  Brooks, Ian et al. (2024). “History-Enhanced ICT for Sustainability Education : Learning Together with Business

Computing Students”. In : *2024 10th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S)*. IEEE, p. 1-12.



Brousseau, Guy (1997). *La théorie des situations didactiques*.
url : %7B<http://www.cfem.asso.fr/actualites/archives/Brousseau.pdf>%7D.



Brown, Noelle et al. (2024). “Teaching ethics in computing : a systematic literature review of ACM computer science education publications”. In : *ACM Transactions on Computing Education* 24.1, p. 1-36.



Carnino, Guillaume et Clément Marquet (2018). “Les datacenters enfonce le cloud : enjeux politiques et impacts environnementaux d'internet”. In : *Zilsel* 3.1, p. 19-62.



Cellard, Loup et Clément Marquet (2023). “Frictions sous-marines. Écologies et politiques des fragilités de l'interconnexion numérique”. In : *Revue d'anthropologie des connaissances* 17.17-4.



Chauvigné, Céline et Michel Fabre (2023). “Des “éducations à” aux problèmes pernicious : repères pour une éducation au politique à l'école.”. In : *Travail et Apprentissages* 2, p. 140-159.

-  Chevallard, Yves (1982). “Pourquoi la transposition didactique”.
In : *Actes du Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques de l'IMAG*, p. 167-194.
-  *Controverses mode d'emploi* (2021). Presses de la fondation nationale des Sciences Politiques. isbn : 978-2-7246-2715-2.
url : [%7Bhttps://controverses.org/mode-demploi/%7D](https://controverses.org/mode-demploi/).
-  de Goër, Baptiste et Sophie Quinton (juin 2025). “The Political Dimension of Problematizing ICT-related Sustainability Issues”.
In : *ICT4S 2025 - ICT for Sustainability*. Dublin, Ireland, to appear.
-  Denning, Peter J et Matti Tedre (2021). “Computational thinking : A disciplinary perspective”. In : *Informatics in Education* 20.3, p. 361.
-  Ekchajzer, David et al. (2024). “ Decision-Making Under Environmental Complexity : The Need for Moving from Avoided Impacts of ICT Solutions to Systems Thinking Approaches ”.
In : *2024 10th International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S)*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society, p. 29-40.

-  Fabre, Michel (2014). “Les « Éductions à » : problématisation et prudence”. In : *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE* 36.
-  — (2021). “Problématologie des questions socialement vives. Repères épistémologiques pour l'école”. In : *Revue française de pédagogie*, p. 89-99.
-  — (2024). “Vous avez dit éducation au politique?” In : *Penser l'éducation. Philosophie de l'éducation et histoire des idées pédagogiques* 54, p. 31-47.
-  Freitag, Charlotte et al. (2021). “The real climate and transformative impact of ICT : A critique of estimates, trends, and regulations”. In : *Patterns* 2.9, p. 100340.
-  Hersant, Magali (2022). “Usages et apports du cadre de la problématisation à la didactique des mathématiques”. In : *Le cadre de l'apprentissage par problématisation. Apports aux recherches en didactiques*. Sous la dir. de Sylvain Doussot et al. Presses Universitaires de Rennes, p. 57-74.
-  Hervé, Nicolas et al. (2022). “Quels modèles de l'enquête sur une question socialement vive pour le développement d'une

pensée problématologique ?” In : *Questions Vives. Recherches en éducation* 37.



Hilty, Lorenz et Bernard Aebischer (jan. 2015). “ICT for Sustainability : An Emerging Research Field”. In : t. 310, p. 3-36. isbn : 978-3-319-09227-0. doi : 10.1007/978-3-319-09228-7_1.



Horner, Nathaniel C, Arman Shehabi et Inês L Azevedo (2016). “Known unknowns : indirect energy effects of information and communication technology”. In : *Environmental Research Letters* 11.10, p. 103001. doi : 10.1088/1748-9326/11/10/103001.



IPCC (2021). “Summary for Policymakers”. In : *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Sous la dir. de V. Masson-Delmotte et al. Cambridge, UK et New York, NY, USA : Cambridge University Press, p. 1-31. doi : 10.1017/9781009157896.001. url :

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.



Jaton, Florian (avr. 2022). *The Constitution of Algorithms - Ground-Truthing, Programming, Formulating*. en-US. The MIT Press. isbn : 978-0-262-54214-2. (Visité le 18/01/2023).



Latour, Bruno (1995). “Moderniser ou écologiser. A la recherche de la Septième Cité”. In : *Écologie & politique : sciences, culture, société* 13, p. 5-27.



Legardez, Alain (2006). “Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères”. In : *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner les questions vives*. T. 110. ESF Paris, p. 19-32.



Levinson, Ralph (2018). “Introducing socio-scientific inquiry-based learning (SSIBL)”. In : *School Science Review* 100.371, p. 31-35.



Maraninchi, Florence (jan. 2024). “Revisiting “Good” Software Design Principles To Shape Undone Computer Science Topics”. In : *Undone Computer Science conference*.

-  Meadows, Donella H et al. (2018). “The limits to growth”. In : *Green planet blues*. Routledge, p. 25-29.
-  Modeste, Simon (2020). “Prendre en compte l'épistémologie de l'algorithme. Quels apports d'un modèle de conceptions ? Quelle transposition didactique ?” In : *Recherches en didactique des mathématiques* 40.3, p. 363-404.
-  Mora, Camilo et al. (2017). “Global risk of deadly heat”. In : *Nature climate change* 7.7, p. 501-506.
-  Morin, Olivier (déc. 2018). “La formation de la pensée écologique, éducation scientifique et politique”. In : *Une éducation à la pensée scientifique pour une société plus juste*.
-  Peters, Anne-Kathrin et al. (fév. 2024). “Sustainability in Computing Education : A Systematic Literature Review”. In : *ACM Trans. Comput. Educ.* 24.1. doi : 10.1145/3639060.
-  Pouliot, Chantal et Audrey Groleau (2011). “L'approche des îlots de rationalité interdisciplinaires : pour une éducation aux sciences et à la citoyenneté”. In : *Pédagogie collégiale vol. 25, no 1, automne 2011*.

-  Richardson, Katherine et al. (2023). “Earth beyond six of nine planetary boundaries”. In : *Science advances* 9.37, eadh2458.
-  Roussilhe, Gauthier, Anne-Laure Ligozat et Sophie Quinton (2023). “A long road ahead : a review of the state of knowledge of the environmental effects of digitization”. In : *Current Opinion in Environmental Sustainability* 62, p. 101296.
-  Salas-Zapata, Walter Alfredo, Leonardo Alberto Rios-Osorio et Jaiberth Antonio Cardona-Arias (2017). “Methodological characteristics of sustainability science : A systematic review”. In : *Environment, Development and Sustainability* 19, p. 1127-1140.
-  Varcher, Pierre (2011). “L'éducation en vue du développement durable : une filiation à assumer, des défis à affronter”. In : *L'éducation en vue du développement durable : sciences sociales et élèves en débat*. Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation . . . , p. 25-46.
-  World Commission on Environment and Development (1987). *Our common future*.