



Green IT - Le matériel de l'immatériel

Olivier Ridoux

► To cite this version:

Olivier Ridoux. Green IT - Le matériel de l'immatériel. École d'ingénieur. France. 2020. hal-02492252

HAL Id: hal-02492252

<https://hal.science/hal-02492252>

Submitted on 11 Mar 2020

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

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

Green IT

le matériel de l'immatériel

Oliver Ridoux - 2020

Motivations

Le développement exponentiel des TIC

Qu'est-ce qu'un **développement exponentiel** ? Le terme de **exponentiel** est trop souvent galvaudé pour dire **beaucoup**, ou pour évoquer un **développement in-contrôlé**. Dans le cas des systèmes TIC on peut l'employer en son sens le plus rigoureux : un système a un développement exponentiel si **une mesure de son développement est multipliée par une constante à intervalles de temps réguliers** : **si la mesure vaut 1 au temps t, elle vaudra k au temps t+1, k² au temps t+2, et kⁿ (soit e^{n*ln k}) au temps t+n**.

La plus fameuse des lois exponentielles de l'informatique est la **loi de Moore** : **« La puissance des circuits intégrés double tous les 18 mois »**. Il s'agit d'une loi empirique, une conjecture, postulée par Gordon Moore, co-fondateur de la société **Intel**, dès les premières années du développement des circuits intégrés. Doubler tous les 18 mois signifie la chose suivante : imaginons que **la puissance des circuits intégrés vaille 1 en janvier 1970, elle vaudra 2 en juillet 1971, 4 en janvier 1973, environ 1000 en 1985, environ 1 million en 2000, et autour de 50 milliards aujourd'hui** ! Cette loi qui pouvait sembler audacieuse au début a été observée jusqu'à maintenant. On peut la lire de 2 façons :
1 - Un processeur d'aujourd'hui est 50 milliard de fois plus puissant que celui de 1970.
2 - Le service rendu par le processeur de 1970 pourrait être rendu par un 50 milliardième du processeur d'aujourd'hui.

De façon similaire, on considère que **« La capacité de stockage installée dans les *datacenters* (voir page 4) double tous les 15 mois »** ; elle est donc multipliée par 16 tous les 5 ans. Si elle était de **1 en 2005, elle serait de 16 en 2010, et de environ 4000 aujourd'hui**. Cette conjecture est aussi très bien vérifiée.

On trouve de telles lois/conjectures pour les coûts, **« La capacité de stockage des disques durs par unité de coût double tous les ans »**, ou la loi de **Koomey**, **« La capacité de calcul par unité de puissance électrique double tous les 18 mois »**.

On peut trouver positives ces lois exponentielles qui promettent un accroissement extraordinaire des capacités des systèmes TIC. Malheureusement, elles ont aussi leur pendant côté consommation de ressources, ex. **« La consommation électrique des *datacenters* double tous les 5 ans »** ou **« Le nombre de serveurs Internet est multiplié par 10 tous les 4 ou 5 ans »**. De telles lois ne sont pas propres aux TIC ; toutes les grandes technologies ont connu un tel développement exponentiel avant de connaître l'éclatement de leur bulle.

Green IT

le matériel de l'immatériel

Oliver Ridoux - 2020

Motivations

Analyse de cycle de vie des systèmes TIC

L'**ACV** des systèmes TIC soulève de grandes difficultés pour les plus complexes d'entre eux, qui sont aussi les plus critiques, ex. Internet, le Web, le Cloud. Elle soulève d'autres difficultés, aussi grandes, pour le logiciel, qui est souvent responsable de la mauvaise utilisation du matériel, mais ne se laisse pas facilement analyser. Là où elle a pu être faite, l'**ACV** révèle de sévères **menaces** contre la durabilité, tant au niveau matériel par des **consommations invisibles** (ex. les *veilles*), par des **coûts de fabrication disproportionnés**, et une phase de **démantèlement mal gérée**, qu'au niveau logiciel, où l'essentiel de l'accroissement de performance du matériel est consommé par l'accroissement de la taille des logiciels. Ces deux questions, l'**ACV** des systèmes TIC et des logiciels, et l'**écoconception** de ces mêmes systèmes et logiciels afin qu'ils soient durables, sont des questions **d'ingénierie** et de **recherche** qu'il est urgent de traiter.

Cependant, on sait assez bien faire l'ACV des équipements matériels individuels. Celle-ci révèle des particularités des TIC.
Phase d'exploitation très courte : ex. moins de 2 ans pour les téléphones portables et un peu plus pour les PC portables. De ce fait, la phase de production domine le cycle de vie en terme d'impact (ex. bilan carbone et consommation de ressources).
Utilisation de ressources critiques : c-à-d. des ressources qui sont soit à **disponibilité réduite** à coût constant (ex. **moins de 15 ans pour l'indium**, métal utilisé dans les écrans plats), soit disponibles dans **très peu de régions** (ex. **l'Afrique du Sud détient 80 % des réserves de platine**), soit **spécifiques** à l'industrie TIC (ex. **l'indium à nouveau** - attention, le silicium est un faux ami, son principal consommateur est la sidérurgie), soit qui n'ont **pas de solution de substitution connue** (ex. les **terres rares**) soit **qu'on ne sait pas recycler efficacement** et qui sont donc irrémédiablement perdues après usage (ex. **indium et terres rares**, toujours eux). Sans oublier l'eau qui est abondamment consommée dans les procédés de photolithographie utilisés pour produire les circuits intégrés, les écrans, et les circuits imprimés (au total, **plusieurs m³ d'eau pour un PC fixe**), mais aussi dans les procédés d'extraction de minéraux (ex. **mines de cuivre**) ou de production d'électricité (ex. **les tours de refroidissement** qui transforment de l'eau **bleue** en eau **verte**).

Recyclage difficile : soit par la nature des matériaux, soit par le fait qu'ils sont très finement intriqués, en faible quantité, dans un faible volume.
Obsolescence provoquée : par laquelle le besoin (envie ?) de changer un appareil est dicté par d'autres considérations que celles du bon fonctionnement. Ex. changer une machine qui marche pour profiter d'une nouvelle version de son logiciel. L'obsolescence provoquée crée une catégorie d'objets qui marchent encore, qu'on a remplacé, mais dont on ne sait pas se séparer, au cas où.

Des réglementations peuvent devoir s'imposer, soit pour encadrer les méthodologies, ACV, indicateurs, mesures, etc., soit pour encadrer les usages.

Le *Green IT* est l'étude du développement des systèmes TIC sous l'angle de la **durabilité**. C'est une problématique qui s'impose par le développement exponentiel de ces systèmes. Elle ne peut pas se réduire aux questions environnementales, et encore moins aux questions énergétiques.

S'adressant à des organisations extrêmement complexes, elle doit s'obliger à une analyse **de cycle de vie** rigoureuse des système TIC, et de leur influence sur d'autres systèmes et sur les usages. L'ACV est une méthode standard du développement durable, qu'on a pu appliquer assez facilement aux équipements TIC élémentaires, mais qu'on ne sait pas encore bien appliquer aux logiciels et aux systèmes. Le *Green IT* peut prendre une forme technique dans l'**écoconception** de systèmes, Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Elle est présente dans notre vie quotidienne par le logo de la poubelle barrée qui indique qu'un produit ne doit pas être jeté avec les ordures ménagères mais ramené à un point de collecte pour recyclage, ex. pour les DEEE, dans un magasin.

Le *Green IT* représente aussi de nombreuses possibilités d'activités professionnelles tant dans l'industrie qu'en recherche. Il est remarquable que beaucoup de ces activités ne relèvent pas strictement de l'informatique, y-compris lorsqu'elles sont techniques. On considère que les activités s'organisent selon deux axes. L'axe horizontal va de gauche, jusqu'à la création d'activités innovantes, à droite. L'axe vertical va des activités très organisationnelles, en haut, aux activités d'ingénierie ou de recherche, en bas.

Le *Green IT* représente aussi de nombreuses possibilités d'activités professionnelles tant dans l'industrie qu'en recherche. Il est remarquable que beaucoup de ces activités ne relèvent pas strictement de l'informatique, y-compris lorsqu'elles sont techniques. On considère que les activités s'organisent selon deux axes. L'axe horizontal va de gauche, jusqu'à la création d'activités innovantes, à droite. L'axe vertical va des activités très organisationnelles, en haut, aux activités d'ingénierie ou de recherche, en bas.

Le *Green IT* représente aussi de nombreuses possibilités d'activités professionnelles tant dans l'industrie qu'en recherche. Il est remarquable que beaucoup de ces activités ne relèvent pas strictement de l'informatique, y-compris lorsqu'elles sont techniques. On considère que les activités s'organisent selon deux axes. L'axe horizontal va de gauche, jusqu'à la création d'activités innovantes, à droite. L'axe vertical va des activités très organisationnelles, en haut, aux activités d'ingénierie ou de recherche, en bas.

Le *Green IT* représente aussi de nombreuses possibilités d'activités professionnelles tant dans l'industrie qu'en recherche. Il est remarquable que beaucoup de ces activités ne relèvent pas strictement de l'informatique, y-compris lorsqu'elles sont techniques. On considère que les activités s'organisent selon deux axes. L'axe horizontal va de gauche, jusqu'à la création d'activités innovantes, à droite. L'axe vertical va des activités très organisationnelles, en haut, aux activités d'ingénierie ou de recherche, en bas.

Le *Green IT* représente aussi de nombreuses possibilités d'activités professionnelles tant dans l

Prérequis : réchauffement climatique, développement durable, analyse de cycle de vie.

Lire, comprendre, apprendre.

Préparer le pliage (voir au recto traits gris rentrants, traits rouges saillants).

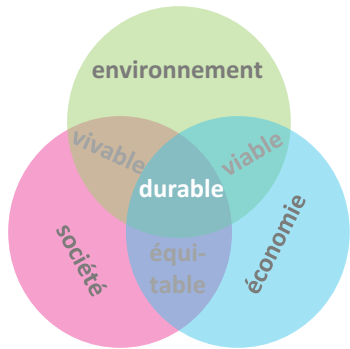
Découper selon le trait rouge entre les deux ●, puis achever le pliage.

Réchauffement climatique et gaz à effet de serre

Le réchauffement climatique est une menace de bouleversements environnementaux majeurs, donc de non-durabilité pour le pilier environnemental, mais aussi de bouleversements sociaux avec des flux de réfugiés climatiques, et finalement de bouleversements économiques par la disparition de ressources économiques naturelles dans des zones désertifiées ou inondées par la montée des océans. Avec l'épuisement de certaines ressources, le réchauffement climatique est donc une menace majeure pour la durabilité.

En dépit du retard de prise de conscience causé par les climatosceptiques et les court-termistes, on admet maintenant le rôle des activités humaines dans le réchauffement climatique via la production de gaz à effet de serre (**GES** ou *Greenhouse Gaz*, **GHG**). Ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère, et notre planète leur doit d'être respirable. Cependant, la production actuelle de GES dépasse largement ce qui est nécessaire au maintien d'une atmosphère respirable et est la principale explication du réchauffement observé.

Plusieurs gaz ont un effet de serre notable : l'emblématique **gaz carbonique** (dioxyde de carbone ou CO₂), le **méthane** (CH₄), les **hydrofluorocarbures** (HFC, gaz caloripoteurs remplaçant les CFC anciennement utilisés dans les réfrigérateurs et fauteurs de trous dans la couche d'ozone), et même la **vapeur d'eau** (H₂O). Cependant, ils n'ont pas tous le même potentiel d'effet de serre (10000 fois plus que CO₂ pour les HFC), ni la même durée de vie dans l'atmosphère (quelques jours pour H₂O, une centaine d'année pour CO₂, des dizaines de milliers d'années pour certains composés fluorés).



Les 3 piliers du développement durable

On a l'habitude de dire que le développement durable s'appuie sur 3 piliers qui correspondent à trois conditions que doit remplir une activité durable : le pilier économique, le pilier social et le pilier environnemental.

On représente chacun des piliers par un disque qui symbolise toutes les activités qui respectent les conditions du pilier (voir à gauche). Là où deux disques se chevauchent, se trouvent les activités qui respectent les conditions de deux piliers. Par exemple, on connaît bien les produits **équitable**s qui sont produits et commercialisés d'une façon qui permet à la fois le développement économique et le développement social des producteurs, transformateurs, etc., mais leur vertu environnementale n'est pas garantie. Là où les trois disques se recoupent, se trouve le **développement durable**.

Écrans plats et GES

Beaucoup considèrent que le remplacement des **écrans cathodiques** par des **écrans plats** a été une bonne chose car l'utilisation de ses derniers dégageait moins de GES.

C'est oublier la base de l'ACV qui veut que l'inventaire soit fait du **berceau au tombeau**. En phase d'utilisation et par unité de surface, l'écran plat consomme moins que l'écran cathodique. Mais si on intègre le bilan carbone sur tout le cycle de vie, le résultat est contraire à cette intuition. Un écran plat produit plus de 600 kg de CO₂, et un écran cathodique moins de 30. Et on en produit plus et de plus grands...

Transparence/éducation/information

On considère également que pour être durable le développement doit s'accompagner de **transparence**, d'**éducation** et d'**information**. Il ne peut donc pas y avoir une dictature du développement durable, même si il impose ses contraintes, car celles-ci devront être expliquées, justifiées et évaluées publiquement.

Nous disposons maintenant d'une grille d'analyse des activités pour les qualifier de durables ou non. Il nous faut maintenant une méthode d'analyse la plus objective possible. Cette méthode est l'**analyse de cycle de vie** (ACV, voir les **encarts verts**).

Le développement durable

Le développement économique et social est-il compatible avec la préservation de l'environnement ? C'est une préoccupation au moins aussi ancienne que la révolution industrielle. Au début, la réponse a été non, et a conduit à identifier des zones sans activité humaine. De là sont nés les premiers parcs nationaux, ex. le parc de **Yellowstone** en 1871.

Depuis, la réflexion a poursuivi son chemin en intégrant le développement humain (santé, éducation, etc.) pour aboutir à la définition moderne du **développement durable** (**DD** ou *sustainable development*) donnée en 1987 dans le rapport *Our Common Future* de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies (plus connu sous le nom de **rapport Brundtland**, du nom de la présidente de cette commission, Mme Gro Harlem Brundtland) :

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

Contrairement à la vision purement environnementale des débuts, cette définition intègre l'idée que **l'humanité a des besoins**, et qu'en plus ils ne sont **pas satisfaits partout**. Un développement est donc nécessaire pour les satisfaire, mais il doit être fait dans le respect de l'environnement sur le long terme. Le DD ne demande donc pas de figer la situation présente, et encore moins d'exclure l'espèce humaine pour sauver l'environnement.

Une fois cela dit au plan philosophique et politique, rien n'est dit au plan opérationnel, et le modèle des **3 piliers du développement durable** va préciser un peu cela.

Green IT = TIC et DD

Le pilier écologique et son fragment le bilan carbone sont sur-représentés dans les discours Green IT, mais un rapide tour d'horizon montre que les 3 piliers sont bien nécessaires.

En 2014, une **grève** (pour 150 % d'augmentation de salaire !) dans les mines de platine d'Afrique du Sud a duré 6 mois. Elle faisait suite à plusieurs années de troubles sociaux dans les mines de platine (ex. 34 morts en 2012 à Marikana). L'industrie TIC était bien sûr vivement concernée par les conséquences de ce conflit sur le cours du platine (pilier économique), mais la grève a rappelé le volet social des TIC, comme partout où les matières premières et les appareils TIC sont produits dans des conditions indignes.

En Arizona, États-Unis, se trouvent d'importantes mines de cuivre. Elles sont au centre d'un conflit entre indiens riverains et sociétés minières concernant l'accès à l'eau. Ce n'est pas un conflit lointain, car le cuivre est reconnu par l'UE comme un **matériau critique** pour les TIC.

Les 3 ordres de l'analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie peut étudier les impacts d'une activité selon 3 ordres différents.

1^{er} ordre : les impacts directs d'une activité. Ex. quels sont les impacts de la construction de 1 km de ligne TGV ? De son exploitation ? De la construction d'un ordinateur ? De la fabrication et de l'utilisation d'un écran cathodique ?

2^{ème} ordre : l'impact sur le cycle de vie d'une autre activité ou d'un autre produit. Ex. quel est l'impact d'une nouvelle ligne TGV sur les autres moyens de transport ? Moins de transport aérien, moins de transport routier, etc. ? On énonce souvent ce genre de « vérités », mais dans le cas de l'ACV on veut les mesurer sans idée préconçue. Ex. quel est l'impact de la numérisation des documents sur la consommation de papier ? Fait-on plus de déclarations d'impôts parce qu'elles sont « dématérialisées » ? Probablement non. Les imprime-t-on moins ? Difficile à dire sans une analyse précise. Imprime-t-on plus de documents composés à la maison ? Certainement oui !

3^{ème} ordre : l'impact sur les usages. Ex. dans quelle mesure la nouvelle ligne TGV fait-elle que des gens qui ne faisaient pas ce trajet jusque là le font désormais, parce que le temps de trajet est passé sous une barre psychologique, disons 1 h 30 ? Cas des habitants d'une ville qui prendraient l'habitude de travailler dans une ville distante, parce que la nouvelle ligne TGV la rapprocherait, mais passant de ce fait d'un temps de trajet quotidien de 2 × 30 min à 2 × 1 h 30 ?

Analyse de cycle de vie – ACV

L'analyse de cycle de vie (ou *life-cycle assessment – LCA*) est une ingénierie d'analyse des coûts et des impacts de la réalisation d'un service ou d'un produit, ex. produire un kWh d'électricité nucléaire ou un km d'autoroute, rouler 100 km en voiture, ou poster un colis pour Singapour.

Cette analyse doit se faire du **berceau au tombeau** (*from Cradle to Grave*). C'est-à-dire qu'elle doit prendre en compte tout les coûts, ceux du service lui-même, comme ceux de la production des appareils nécessaires au service, ou ceux du démantèlement de ces appareils (voir ci-contre).

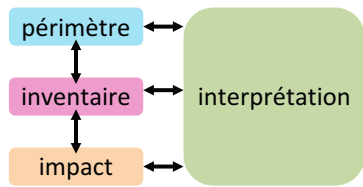
Par exemple, il est coutumier de considérer l'énergie éolienne, celle du vent, comme une énergie propre et renouvelable. Mais c'est oublier que ces éoliennes constituent une structure d'acier, plantée dans un scellement en béton, dont la production n'est ni propre ni renouvelable, et l'installation sur le lieu d'exploitation ni propre ni renouvelable non plus. Si on considère en plus qu'un jour toute éolienne deviendra une épave d'éolienne et devra être démantelée (au bout de 30 ans environ), on est en droit de se demander quel est le bilan total ; comment les impacts de fabrication, d'installation, d'entretien et de démantèlement sont amortis dans la phase de production effective d'électricité propre et renouvelable. C'est à ce genre de question que l'ACV apporte des réponses au delà des idées préconçues.

L'ACV est une activité qui s'organise en 4 étapes : la **définition du périmètre**, l'**inventaire**, l'**étude d'impact**, et l'**interprétation**.

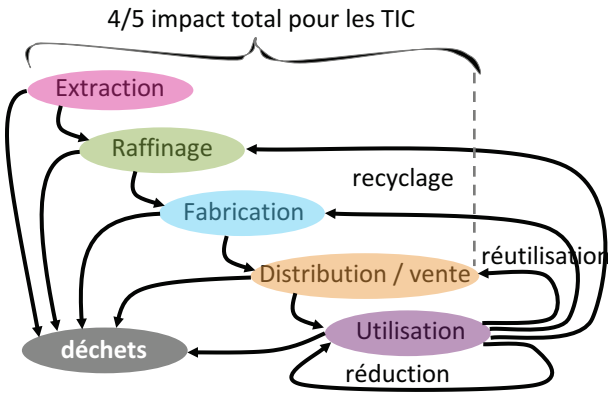
2 Définition du périmètre : il s'agit de déterminer l'unité de service qui va être analysée (on parle **d'unité fonctionnelle**, ou **UF**), ce qui va être mesuré (ex. consommation d'eau, production de gaz à effet de serre), les conditions de réalisation du service (ex. en Chine où l'électricité est très carbonée, ou en France où elle l'est très peu) ou les conditions d'utilisation du service (ex. cycles routier ou urbain pour parcourir 100 km). Tous ces paramètres doivent être soigneusement définis pour garantir la qualité de l'ACV.

On définit aussi où doit s'arrêter l'analyse (ex. prise en compte de la production du béton pour l'ACV d'un barrage hydro-électrique, mais traitement forfaitaire des camions qui transportent le béton).

Parmi ces paramètres, le choix de l'unité fonctionnelle est crucial pour rendre comparables les ACV à différentes dates ou pour différentes façons de réaliser le service. C'est pourquoi on définit des UF artificielles (ex. le cycle routier urbain, ou le cycle d'utilisation des appareils ménagers), mais normalisées pour être comparables.



Les 3 R : La recommandation générale est de **réduire**, **réutiliser** et **recycler**.
Réduire (la production de déchets) : en augmentant la durée d'utilisation. Spécialement important pour les objets au cycle de vie déséquilibré tels que les systèmes TIC.
Réutiliser : peut inclure reconditionnement et mise-à-niveau technique.
Recycler : afin de récupérer composants ou matériaux.



ACV logicielle

On ne sait toujours pas bien faire l'ACV d'un logiciel, tellement les contours de ce qui est **dans** un logiciel sont flous. Cependant, une chose est certaine, le logiciel a une place prépondérante dans l'impact d'un système TIC. Par exemple, son **empreinte mémoire** est déterminante. On entend par là la quantité de mémoire que le logiciel doit gérer. La localité des données a aussi une énorme importance même au sein d'une machine. On sait par exemple que les lectures-écritures en mémoire coûtent beaucoup plus cher que les opérations de calcul proprement dites. On a pu observer des changement radicaux du comportement de serveurs simplement par changement de leur logiciel.

Ces observations conduisent à l'idée que même si on ne sait pas encore faire l'ACV d'un logiciel, il faudrait inclure dans les spécifications non-fonctionnelles d'un logiciel ses caractéristiques environnementales. Ce serait les débuts de l'**éco-conception logicielle**.

3 Inventaire : il s'agit de mesurer tout ce qui a été prévu de l'être dans la définition du périmètre. L'inventaire doit être le plus complet possible, dans le cadre du périmètre déterminé au préalable. Certaines quantités seront réellement mesurées et d'autres traitées de façon forfaitaire en utilisant une base de données de résultats d'ACV déjà faites.

4 Étude d'impact : il s'agit d'examiner l'impact social, environnemental ou économique de l'activité analysée. Par exemple, la production d'un même polluant n'a pas le même impact selon qu'elle a lieu près d'une population ou non. Un impact souvent examiné est le **réchauffement climatique** via la production de **gaz à effet de serre**. Pour évaluer cet impact, on va convertir les quantités de gaz à effet de serre recensées par l'inventaire en une quantité d'un gaz de référence qui aurait le même potentiel d'effet de serre. On choisit comme gaz de référence le **dioxyde de carbone**, et on appelle cette étude d'impact le **bilan carbone**. C'est ainsi qu'un bilan carbone peut conduire à afficher une production de dioxyde de carbone non nulle même pour un service qui n'en produit pas du tout. Il s'agit donc d'**équivalent CO₂**, ou **CO₂e**.