

Projet de Physique P6
STPI/P6/2014 – 29

**Impact Environnemental de la Société de
l'Information : Bilan et Perspectives**



Etudiants :

**Pauline DEROO
Elise RUBAT-CIAGNUS
Loïc STEUNOU
Emilie VOLLE**

Enseignant-responsable du projet :

Dany VANDROMME



Date de remise du rapport : **16/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 29**

Intitulé du projet : ***Impact Environnemental de la Société de l'Information : Bilan et Perspectives***

Type de projet : ***Bibliographique***

Objectifs du projet :

Prendre conscience (ainsi que faire prendre conscience au lecteur) de l'ampleur du phénomène qu'est la société de l'information et ses impacts environnementaux. Faire un bilan sur les impacts environnementaux causés par la société de l'information, particulièrement par les Technologies de l'Information et de la Télécommunication ainsi que les data-centers. Trouver les perspectives d'avenir et même les solutions pour permettre à la société de l'information d'évoluer en limitant ses conséquences néfastes.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Impact Environnemental – TIC – Data-center***

TABLE DES MATIERES

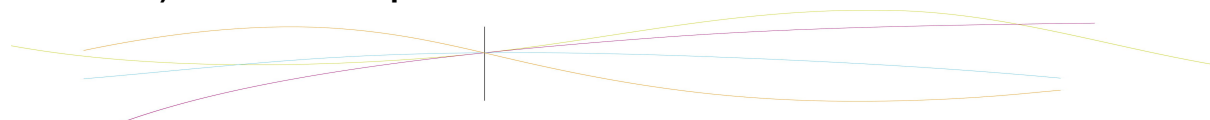
REMERCIEMENTS.....6
NOTATIONS, ACRONYMES.....7
INTRODUCTION.....8
ORGANIGRAMME DE LA REPARTITION DES TÂCHES.....9

I/ La société de l’information..... 10

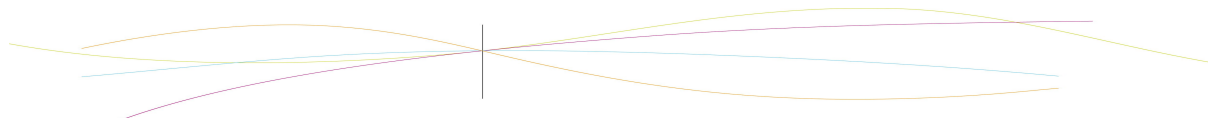
1. Qu'est ce que la société de l'information.....10
 1) Les TIC : Qu'est ce que c'est ?.....10
 2) Les réseaux : Qu'est ce que c'est ?.....10
 3) Les datacenters : Qu'est ce que c'est ?.....11
2. L'évolution de la société de l'information..... 11
 1) Une nouvelle ère.....11
 a. Nouvelle politique..... 11
 b. Nouveau paradigme..... 11
 2) L'impact environnemental en constante augmentation12
 a. La pollution jusqu'à la révolution industrielle..... 12
 b. La pollution induite par la société de l'information..... 12
3. Localisation des puits d'énergie dans le monde numérique.....13
 1) Les TIC dans le monde..... 13
 a. Internet..... 14
 b. Cellulaire Mobile..... 15
 2) Les Data-centers.....16
4. Effets macroscopiques..... 17
 1) L'aspect économique.....17
 2) Les aspects sociaux.....18
 3) L'aspect politique.....18
 4) La culture et le progrès.....18
 5) L'aspect Frauduleux.....18

II/ Les impacts environnementaux causés par la société de l’information.....20

1. Premières préoccupations environnementales en informatique: les 4 mauvaises hypothèses sur le rôle de TIC pour l'environnement20
 1) L'hypothèse du zéro papier.....20
 2) L'hypothèse de la substitution pour les déplacements.....21
 3) L'effet du commerce en ligne sur les transports de marchandises 21
 4) Une faible consommation électrique et empreinte carbone ?.....21
2. Le cas des Datacenters.....22
 1) Les composants du data-center..... 22
 2) La sécurité dans les datacenters.....23
 3) Datacenter et pollution.....25



4) Etude de cas : Le datacenter du Crihan.....	26
3. Les TIC.....	28
1) La pression sur les matières premières.....	30
2) Des transports dans tous les sens.....	33
3) Une consommation énergétique en hausse constante.....	33
4) L'obsolescence.....	36
5) Des déchets en masse	38
III/ Les solutions susceptibles de réduire l'empreinte écologique des TIC.....	41
1. Mesurer la société de l'information pour réglementer les TIC et les data-centers.....	41
1) Rappels de données et chiffres importants.....	41
2) Le développement des TIC et la nécessité de trouver une solution	42
3) Exemple d'indicateur de mesure.....	42
a. Power Usage Effectiveness.....	42
b. PIB, Produit Intérieur Brut.....	44
c. Réglementation	44
2. Green IT, sensibiliser à l'impact environnemental de cette nouvelle société et solutions pratiques.....	45
1) Green IT : Qu'est ce que c'est ?.....	45
2) Les bonnes pratiques à adopter.....	47
3. Solutions pratiques pour les data-centers.....	48
1) Réduire l'impact énergétique d'un data-center : la compensation carbone.....	48
2) Les axes de développement pour un data-center vert.....	48
3) Free cooling.....	48
4) Récupération de la chaleur pour les habitations.....	50
4. Etudes de cas à l'international.....	50
1) Data-center de Thor en Islande.....	50
2) Facebook en Suède.....	50
a. La ville de Lulea.....	51
b. Energie hydroélectrique locale.....	51
c. Climat très favorable.....	52
d. Optimisation maximale.....	53
CONCLUSION.....	54
AVIS PERSONNEL SUR LE PROJET.....	55
ANNEXES.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	62
CREDIT DES ILLUSTRATIONS.....	66



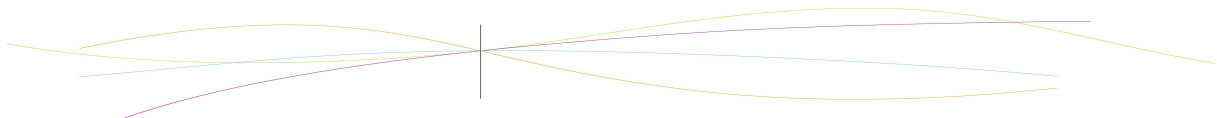
REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier plusieurs personnes pour nous avoir aidés dans l'élaboration de ce rapport.

Merci en premier lieu à M. Dany Vandromme, qui nous a guidés tout au long du projet. Pour nous avoir donné des détails et des informations sur le sujet, pour nous avoir donné son avis sur notre dossier au fur et à mesure des semaines et enfin pour nous avoir mis en contact avec le data-center du CRIHAN.

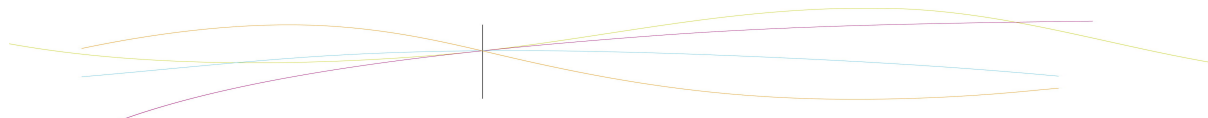
Merci ensuite à Mme. Marie-Sophie Cabot qui nous a accueilli et qui a fait visiter le data-center du CRIHAN et nous a donné toutes les informations concernant cette partie, très utiles pour notre étude de cas.

Merci finalement à M. Nicolas Malomski, étudiant en EP3 à l'INSA de Rouen, pour nous avoir donné les images très représentatives de la consommation des TIC prises par caméra thermique en ANNEXE4.



NOTATIONS, ACRONYMES

TIC : Technologies de l'Information et de la Télécommunication
PUE : Power Usage Effectiveness - Indicateur d'efficacité énergétique
UIT : Union Internationale des Télécommunications
PED : Pays En Développement CDR : Centre de Données Régional
ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie



INTRODUCTION

Étudiants à l'INSA de Rouen et dans le cadre de notre projet de physique encadré par M.Vandromme, nous avons étudié l'impact environnemental de la société de l'information à travers différentes recherches consignées dans ce rapport. Nous avons choisi ce sujet parce que nous étions avant tout curieux de savoir exactement ce qu'est la société de l'information et surtout de connaître le poids qu'elle pèse sur notre environnement. En effet, trouver des solutions pour réduire les impacts environnementaux sur Terre nous intéressait tous les quatre.

Le but de ce compte-rendu est de faire prendre conscience au lecteur de l'importance des effets de la société de l'information sur l'environnement. Nous avons plus particulièrement étudié les effets des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) et des data-centers qui représentent la quasi-totalité de cette société.

Notre rapport s'articule autour de la problématique suivante :

Quels sont les impacts environnementaux de la société de l'information et comment les minimiser sans stopper l'évolution de nouvelles technologies de l'information ?

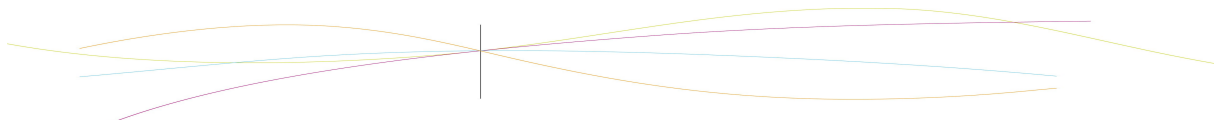
Pour nous permettre de répondre à cette question, nous avons choisi dans une première partie de définir exactement tous les termes et notions essentiels à notre sujet ainsi que décrire les origines, la localisation des puits d'énergie et les effets macroscopiques de la société de l'information.

Dans une deuxième partie, nous avons voulu rendre compte de tous les effets néfastes à l'environnement causés par les TIC et les data-centers. Pour ces derniers, nous avons notamment étudié le cas particulier du centre de données " CRIHAN ", que nous avons visité près de l'INSA.

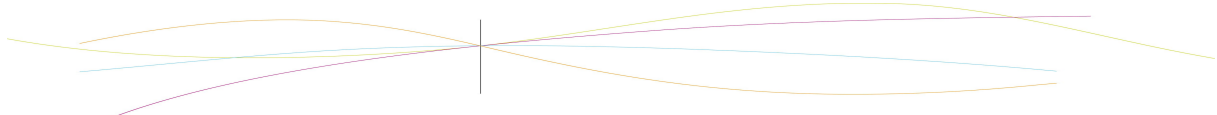
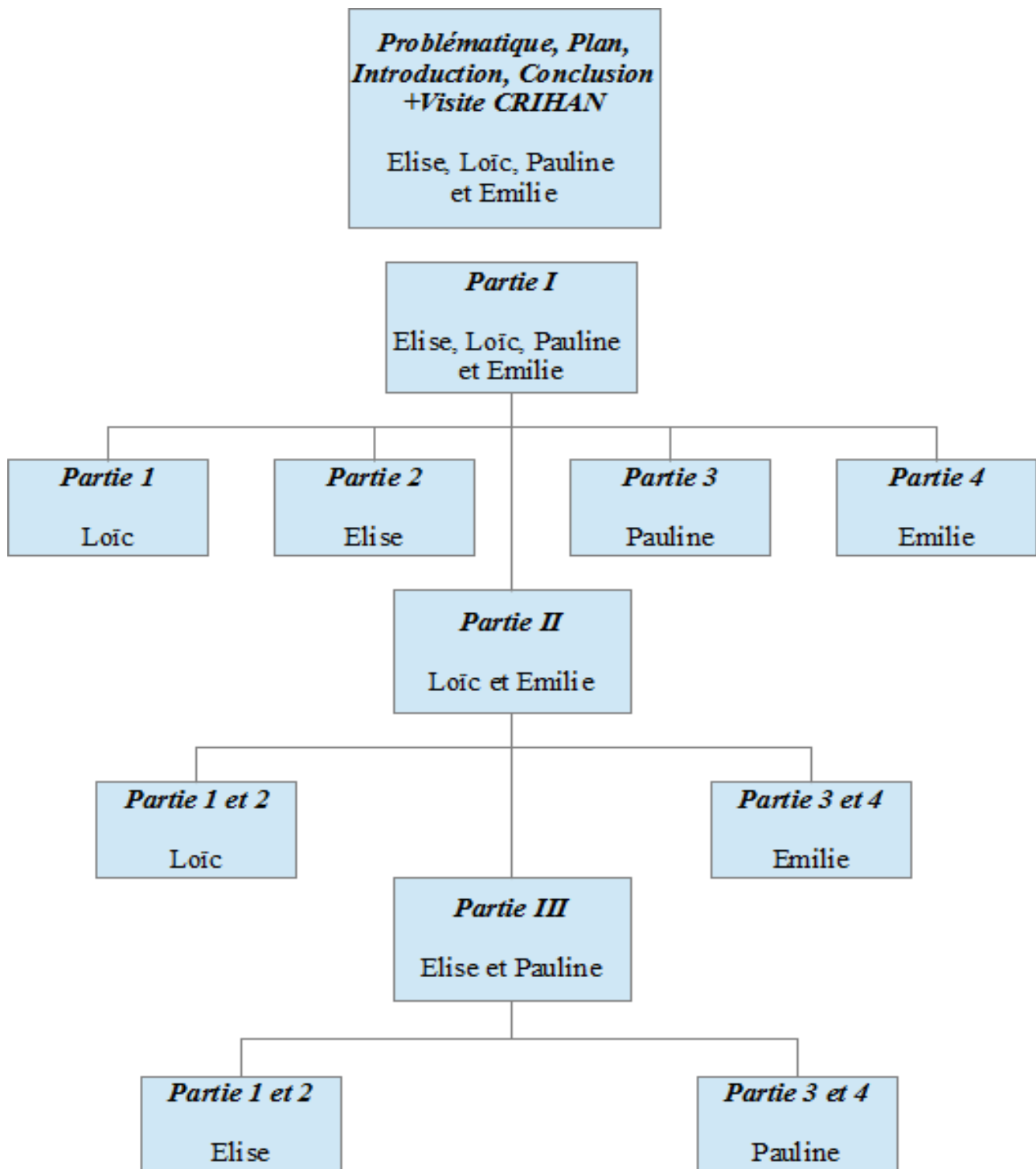
Enfin dans une dernière et troisième partie, nous nous sommes intéressés aux solutions pour minimiser les impacts environnementaux. Le principe de solution consiste à se rendre compte de ces effets indésirables afin d'essayer de normaliser la société de l'information et de trouver des solutions concrètes.

La répartition du travail s'est faite de la manière suivante :

Nous avons tous les quatre fait une sous-partie de la première grande partie, puis deux d'entre nous se sont partagés la deuxième partie et les deux autres la troisième partie. Un suivi de chacun d'entre nous sur le travail des autres ainsi qu'un suivi de M.Vandromme a été fait tout le long du projet. L'organigramme suivant détaille la répartition des tâches. Nous espérons que notre travail permettra au lecteur de comprendre mieux ce sujet peu abordé dans notre société actuelle.



ORGANIGRAMME DE LA REPARTITION DES TÂCHES



I/ La société de l'information

1. Qu'est-ce que la société de l'information ?

La société de l'information est la société qui tourne autour des technologies de l'information et de la communication : les TIC comme les ordinateurs ou les téléphones en font parties, mais il s'agit aussi de la société qui tourne autour des réseaux comme internet ou les réseaux téléphoniques tels que la 3G ou aujourd'hui, la 4G.

Cette société nous permet de communiquer, mais aussi d'avoir accès à de nombreuses informations, grâce à la télévision et à l'accès à la presse sur internet. De plus, cette société nous permet d'obtenir et de manipuler une grande variété de documents.

1) Les TIC : Qu'est-ce que c'est ?

Tout d'abord, il faut savoir que la définition des TIC peut varier selon plusieurs critères qui sont notamment, l'époque de la définition. En effet, l'évolution des TIC est et a été très importante ces dernières années, on peut s'apercevoir qu'il y a eu de nettes évolutions dans ce domaine. En effet, aujourd'hui presque tout le monde possède, par exemple, un ordinateur (on compte près de deux milliards d'ordinateurs dans le monde), un téléphone (aujourd'hui, près de 75% de la population possèdent un téléphone portable) et un accès à internet alors que ce n'était pas le cas il y a 10 ans.

Nous allons donc donner une définition des TIC par rapport à notre époque. La définition de Larousse est simple :

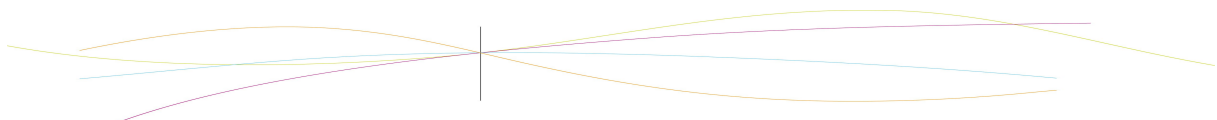
TIC : " Ensemble des techniques et des équipements informatiques permettant de communiquer à distance par voie électronique "

Wikipédia les définit comme étant les techniques permettant aux utilisateurs de communiquer et d'accéder aux sources d'informations, de les manipuler, de les partager...

On trouve alors différentes techniques qui sont l'informatique, l'audiovisuel, les multimédias, internet, etc. Et plusieurs équipements, comme par exemple l'ordinateur, le téléphone, la télévision ou encore le modem.

2) Les réseaux : Qu'est-ce que c'est ?

Les réseaux informatiques ou téléphoniques, sont l'ensemble des moyens matériels et logiciels mis en œuvre pour assurer la communication entre ces différentes technologies. On a, par exemple, les réseaux informatiques comme internet ou les réseaux locaux (les LAN), mais aussi les réseaux téléphoniques ainsi que, par exemple, les réseaux Bluetooth ou infrarouge.



3) Les data-centers : Qu'est-ce que c'est ?

Les data-centers sont des lieux où se trouvent différents équipements électroniques tels que des ordinateurs, des systèmes de stockage et des équipements de télécommunications. Ces derniers mettent bien en évidence l'ampleur de la société de l'information car ils ont pour but de traiter et stocker de l'information mais aussi, de mettre en place un réseau ou encore d'effectuer des calculs.

De nos jours, beaucoup d'entreprises possèdent des data-centers notamment les banques ou les sites internet afin de stocker toutes les informations relatives à leurs clients ou utilisateurs, ce qui représente un espace de stockage énorme.

De nos jours, on dénombre plus de 2000 data-centers, dont environ 100 en France et 1 en Haute-Normandie.

2. L'évolution de la société de l'information

1) Une nouvelle ère

a. Nouvelle politique¹

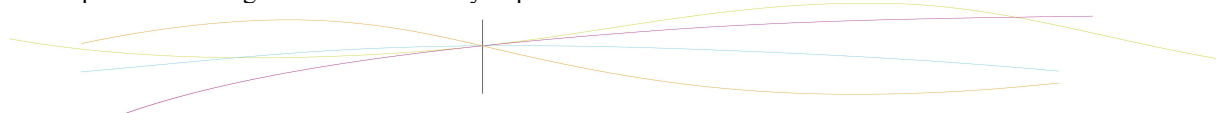
La " société de l'information " s'est, en effet, développée en tant que politique et idéologie dans le cadre de la mondialisation pour instaurer un marché mondial " ouvert et auto-régulé ". Et dès la fin du 20^{ème} siècle, la plupart des pays développés ont adopté cette politique d'optimisation des TIC. Mais les marchés de ces technologies ayant un trop grand succès, ils ont commencé à être saturés, et la pression s'est faite ressentir sur les pays en développement pour créer de nouveaux marchés. Malgré cela, les technologies de l'information ont eu un rôle important dans la globalisation, permettant de rendre celle-ci plus " conviviale ", grâce, par exemple à internet, la téléphonie internationale ou encore la télévision satellite.

b. Nouveau paradigme

L'opposition de deux sociétés différentes montre que la manière d'aborder les technologies a changé. Les matières premières, les combustibles fossiles, les moteurs ont provoqué l'essor d'un développement industriel. De la même façon, l'écriture, le téléphone, la télévision, l'ordinateur et internet sont les atouts majeurs d'une société axée sur l'information. Mais ce sont deux visions fondamentalement différentes. La première met en jeu des technologies de substitution ou d'addition, c'est à dire qu'au fur et à mesure des découvertes, on remplace les précédentes de manières linéaire et séquentielle. Au contraire, la deuxième vision implique des technologies d'intégration. L'exemple le plus parlant est celui d'internet, ou du moins les services qu'offre internet, qui combinent différentes technologies de communication comme des textes (écriture), vidéo (caractéristique de la télévision), communication interactive (caractéristique de la téléphonie).²

1 <http://vecam.org/article516.html>

2 <http://www.ifri.org/downloads/derosnay00.pdf>



C'est toute une manière d'aborder les technologies et donc, toute une société et ainsi toute une ère qui est différente depuis l'apparition des TIC, éléments majeurs dans cette société de l'information.

2) L'impact environnemental en constante augmentation

a. La pollution jusqu'à la révolution industrielle³

Tous ces changements n'ont bien évidemment pas été neutres sur l'environnement, sujet de notre projet. C'est au 19^{ème} siècle que commencent les premières prises de conscience de l'influence humaine sur l'environnement. Au 20^{ème} siècle, c'est la révolution industrielle qui prend essor. Le développement mondial est très important et est accompagné d'une forte croissance économique. Les conséquences environnementales, bien que réellement reconnues 100 ans plus tard, s'en font ressentir très vite.

L'industrie lourde devient une forte consommatrice de ressources naturelles, qui sont maintenant en voie de disparition totale. L'utilisation de ces ressources, au bord de l'épuisement aujourd'hui, a libéré de grandes quantités de gaz à effet de serre. De plus, la déforestation n'améliorera pas le sort de l'atmosphère. Même si les océans sont responsables de plus de 30% du stockage du CO₂ dans l'environnement, il y aura de moins en moins d'arbres pour absorber le dioxyde de carbone. Le réchauffement climatique, dont on a tous entendu parler aujourd'hui, est aussi une des grandes conséquences. Cette ère d'industrialisation engendra aussi les premières catastrophes industrielles comme les marées noires, la pollution de l'air et celle des cours d'eau, ayant des implications irréversibles sur la biodiversité.

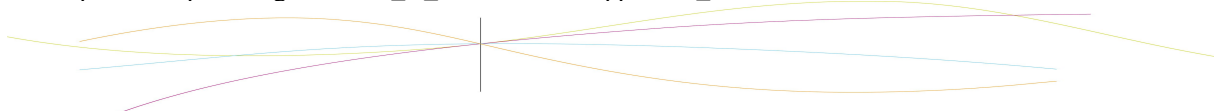
b. La pollution induite par la société de l'information⁴

Avec le développement des TIC et de la société de l'information, la pollution de cette nouvelle ère s'est ajoutée à l'ancienne, et de fausses idées ont circulé sur la propreté environnementale de l'informatique. Le mythe du « zéro papier » ou de la « dématérialisation » est apparu dans les années 1980. En effet on pensait que numériser les informations économiserait le papier et ralentirait la déforestation. Mais c'est tout l'inverse qui s'est produit. On a aussi pensé à tort que la production des déchets de « l'immatériel » serait minimale. Mais la production des outils de communication coûte cher à l'environnement tout au long de leur cycle de vie.

Une dernière grosse conséquence négative des outils électroniques sur l'environnement est une importante consommation d'électricité induisant potentiellement une forte empreinte carbone. Cette nouvelle société de l'information ne fait donc qu'accroître une pollution déjà bien amorcée par un passé fortement industriel. C'est tout un sujet de débat auquel on fait face ici et qui est au cœur de notre projet.

3 <http://fr.wikipedia.org/wiki/Environnement>
<http://www.evadeo.org/industrielle-environnement-a02936788.htm>

4 http://fr.wikipedia.org/wiki/TIC_et_d%C3%A9veloppement_durable



3. Localisation des puits d'énergie dans le monde numérique

1) Les TIC dans le monde

Le constat d'augmentation en termes de développement des TIC se confirme au niveau mondial. Tous les pays développés et une bonne partie des pays en développement (PED) sont fortement équipés en TIC. En effet, comme le montre l'enquête nationale " La diffusion des TIC en France ", réalisée par le CREDOC en juin 2013, les taux d'équipement pour les outils numériques portables sont en net augmentation :



Équipement	2008	2012	2013
Au moins un ordinateur	69	81	83
Accès à Internet à domicile	61	78	81
Ordinateur portable	28	57	61
Smartphones	-	29	39
Plusieurs ordinateurs	20	35	36
Tablettes tactiles	-	8	17

Illustration 1: Taux d'équipement en ordinateur, tablette et smartphone et accès à Internet à domicile (en %)

Par exemple, le taux d'équipement en ordinateur portable a pratiquement triplé en 5 ans.

D'après le rapport d'octobre 2013 de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) " Mesurer la société de l'information ", le pays en progression la plus forte en matière de TIC est la République de Corée, suivie par les pays nordiques (Suède, Islande, Danemark, Finlande et Norvège). Près des deux tiers des 30 pays arrivant en tête du classement se trouvent en Europe.



Classement	IDI 2012	Score	Classement 2011
1	Corée (Rép. de)	8,57	1
2	Suède	8,45	2
3	Islande*	8,36	4
4	Danemark	8,35	3
5	Finlande	8,24	5
6	Norvège	8,13	6
7	Pays-Bas	8,00	7
8	Royaume-Uni*	7,98	11
9	Luxembourg	7,93	9
10	Hong Kong, Chine	7,92	10
11	Australie*	7,90	15
12	Japon	7,82	8
13	Suisse	7,78	12
14	Macao, Chine	7,65	13
15	Singapour	7,65	14
16	Nouvelle-Zélande*	7,64	18
17	États-Unis	7,53	16
18	France*	7,53	19
19	Allemagne	7,46	17
20	Canada	7,38	20

Illustration 2: Les pays en progressions

Un des éléments clés du rapport est l'indice du développement des TIC (IDI), qui établit un classement de 155 pays. Ce classement prend en compte " l'accès aux TIC ", " l'utilisation des TIC " et " les compétences en TIC ". Les outils TIC pris en considération regroupent le téléphone fixe et mobile, l'ordinateur, l'accès à l'internet et la connexion à haut débit.

Quelques chiffres clés :

- En 2013, le nombre de personnes ayant accès à internet dans le monde est de 2,2 milliards de personnes et le nombre de serveurs web serait d'environ 200 millions.
- Selon le Monde, en 2012, 75% des terriens possèdent un téléphone portable.
- L'UIT indique une augmentation de 11% du nombre d'internautes dans le monde au cours de l'année 2011.
- Entre 2010 et 2011, le pourcentage de foyers équipés d'une connexion internet a augmenté de 14%.
- Fin 2011, un tiers (600 millions) des 1,8 milliard de foyers recensés dans le monde disposaient d'un accès à internet.

a. Internet

Plus d'un tiers de la population mondiale, soit 2,3 milliards de personnes, est connecté à internet, selon un rapport de l'agence spécialisée de l'ONU sur les télécommunications (UIT) publié le jeudi 11 octobre 2012.

En termes de pays, en 2012, la Chine concentrait 23% des internautes de la planète. De plus, le pourcentage du nombre total d'internautes dans les PED à travers le monde est passé de 44% en 2006 à 62% en 2011.

En 2011, la croissance du nombre d'internautes a été plus importante dans les PED (+16%) que dans les pays développés (+5%).

Le rapport de l'UIT note par ailleurs que l'essor des smartphones et des tablettes à un prix abordable sur les grands marchés émergents (comme les BRICS : Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud) aura une incidence significative sur le nombre d'abonnements au large bande mobile et sur le nombre d'internautes.

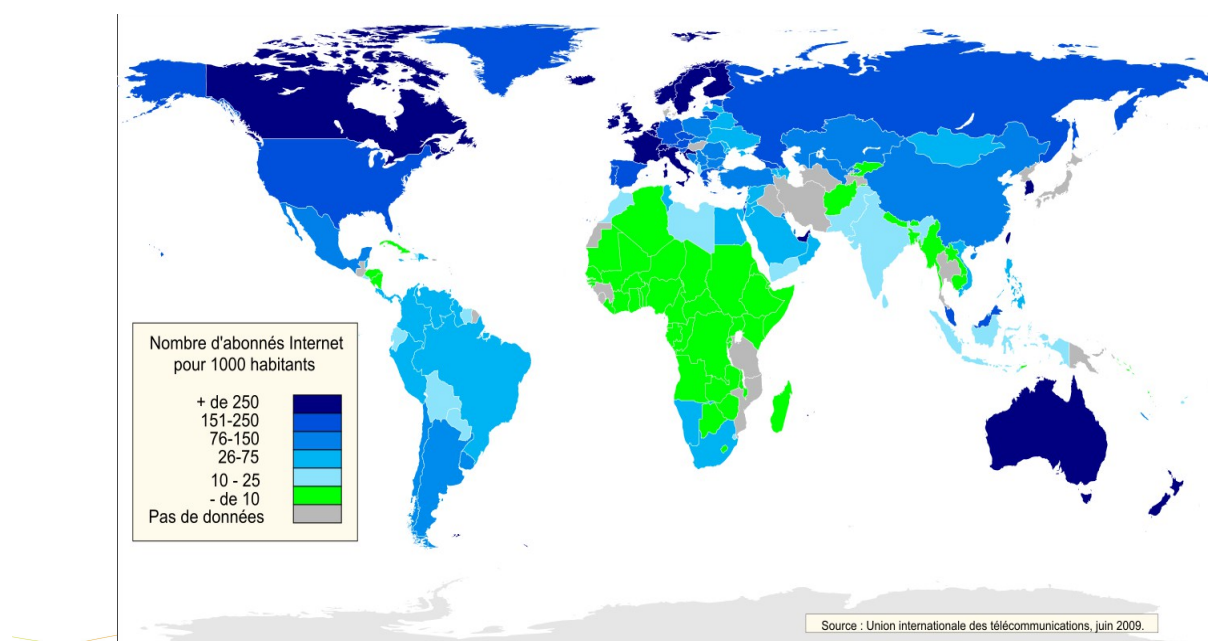


Illustration 3: Nombre d'abonnés Internet par 1000 habitants en 2009

b. Cellulaire Mobile

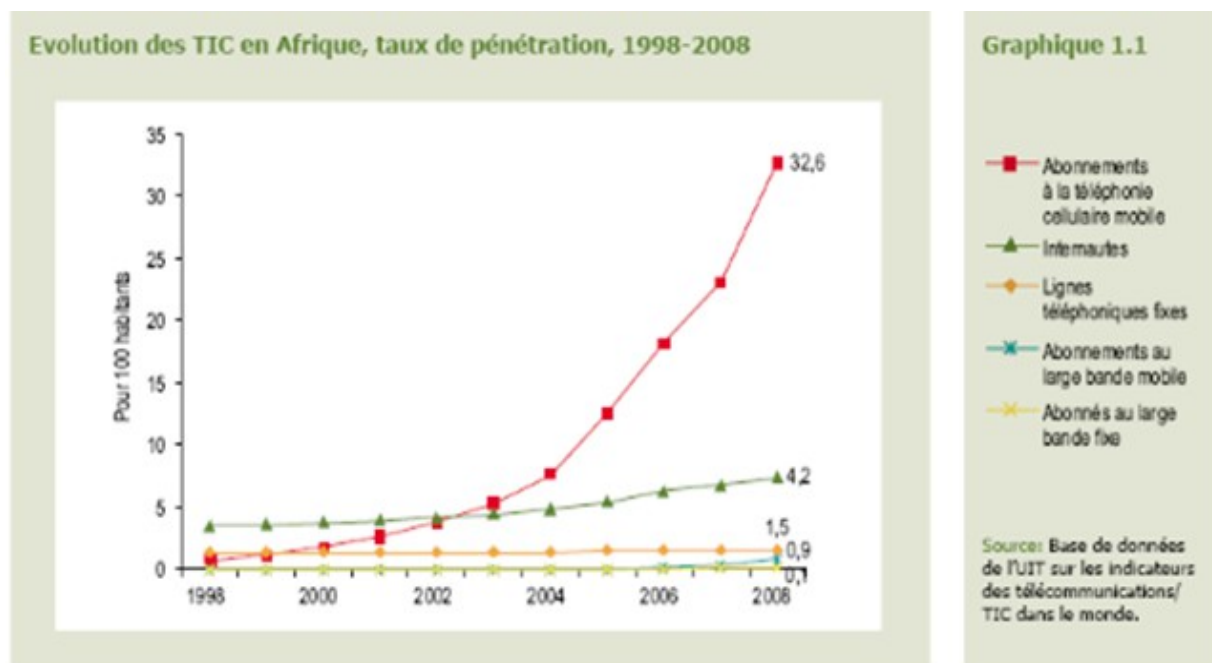
Selon un article du Monde d'octobre 2012 intitulé " **2,3 milliards d'internautes dans le monde** ", le nombre d'abonnements au cellulaire mobile a augmenté de plus de 600 millions dans le monde pendant l'année 2011 pour atteindre un total de près de 6 milliards, soit 86 abonnements pour 100 habitants. En 2013, le nombre d'abonnements se rapprochait du nombre d'habitants dans le monde : on atteignait 6,8 milliards d'abonnements au cellulaire mobile.

Cette hausse est due en grande partie aux PED : en 2013, le taux de croissance des abonnements au cellulaire était de 6,1% pour les PED contre 5,4% dans le monde. En effet, " A elle seule, la Chine compte 1 milliard d'abonnés, et l'Inde devrait elle aussi atteindre la barre du milliard en 2012 ", relève l'UIT.

Exemple : En Afrique et Asie-Pacifique

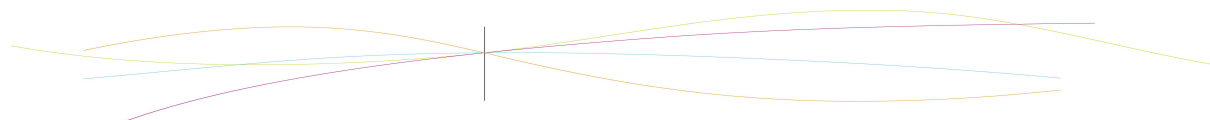
Fin 2008, on comptait en Afrique 246 millions d'abonnements mobiles, avec un taux de pénétration qui est passé de tout juste 5% en 2003 à plus de 30% aujourd'hui. L'Afrique subsaharienne reste la région où la progression de la téléphonie mobile a été la plus forte sur la période 2000-2010.

Entre 2003 et 2008, le nombre d'abonnements à la téléphonie cellulaire mobile en Afrique a plus que doublé comme en témoigne le graphique suivant :



De plus, durant l'année 2008, l'Afrique occupait la première place des pays en développement ayant adoptés les TIC.

Or, en 2013, c'est l'Asie-Pacifique qui recense le plus d'abonnement au cellulaire mobile, 3,5 milliards sur 6,8 milliards dans le monde, c'est à dire plus de la moitié.



Pour conclure, le nombre d’abonnements au cellulaire mobile frôle le nombre d’habitants sur la planète. En effet, son taux de pénétration approche les 100% : en 2013, le taux de pénétration de la téléphonie cellulaire mobile a atteint 96% dans le monde, 128% dans les pays développés et 89% dans les pays en développement.

2) Les Data-centers

Les chiffres concernant le nombre de data-centers dans le Monde se révèlent impressionnants. En 2011 une étude (sur Wikipédia) dénombre ainsi près de 2000 data-centers dans le monde et la France dispose sur son sol d’une centaine de data-centers, dont une quarantaine dans la région parisienne.



Illustration 4: Carte des datacenters certifiés par l’Uptime Institute (7 février 2014)

Certains de ces datacenters consommeraient l’équivalent de 250 000 foyers européens. Et selon Greenpeace, la quantité de données numériques circulant sur le Net devrait être multipliée par 50 d’ici à 2020.

Exemple : Aux États-Unis

La côte Est-américaine constitue une zone dense pour les data-centers. Il y en aurait plus de 150 entre les États de Virginie, du New Jersey et de New York.



Illustration 5: Carte des Datacenters de la côte Est américaine

Exemple : Google

En 2012, la société Google affichait déjà sa présence grâce à 19 sites de data-centers aux États-Unis, 12 en Europe, 3 en Asie, 1 en Russie et 1 en Amérique du Sud.



Illustration 6: Implantation des data-centers de Google dans le monde en 2012

4. Effets macroscopiques

1) L'aspect économique

Le premier impact dû à la société de l'information est celui de la croissance économique. En effet, l'introduction des TIC dans la société a engendré de nombreux gains de productivité assurant ainsi une bonne part de la croissance économique mondiale.

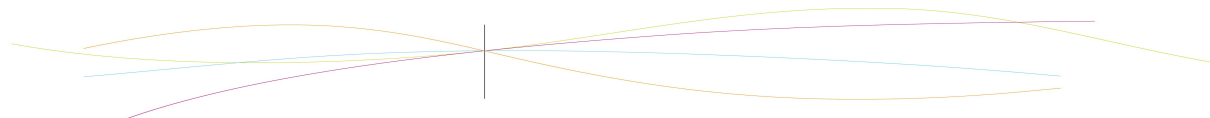
Le développement de la société de l'information est ainsi à la genèse d'une véritable course à la consommation; l'offre de produits commerciaux précédant et incitant souvent la demande.

En effet, il s'agit d'une véritable spirale : aux vues de l'offre, les besoins de la société en termes de nouvelles technologies ne cessent d'augmenter, demandant ainsi toujours plus de puissance, plus de fonctionnalités et polyvalence, à des prix plus faciles d'accès, entraînant alors plus de production et favorisant toujours plus le développement et l'évolution de nouveaux services de TIC.

Néanmoins, il est notable qu'aujourd'hui, la société de l'information ne sert plus à la croissance économique mondiale comme c'était le cas autrefois. Ce phénomène appelé "Paradoxe de productivité", décrit par l'économiste Robert Solow, s'explique notamment par le fait que la société de l'information, au lieu de créer de nouveaux emplois en a supprimé beaucoup d'autres en les automatisant.

Maintenant, elle sert beaucoup plus aux "majors de l'Internet" (tels que Google, Apple, etc...) cherchant toujours à faire consommer plus, au profit de leurs financiers propres.

C'est par exemple le cas d'Apple, qui met sur le marché un nouveau produit systématiquement tous les ans avec parfois pour seule différence entre le nouveau et les anciens produits, une seule nouvelle fonctionnalité.



2) Les aspects sociaux

Force est de constater que les TIC n'ont pas amené que des avantages. Effectivement, elles peuvent être à l'origine de nouvelles formes d'exclusion telles que :

La fracture numérique géographique :

Il s'agit de la disparité d'accès aux technologies informatiques, notamment Internet, que l'on retrouve généralement entre les pays développés (PDEM) et les pays les moins avancés (PMA).

La fracture numérique générationnelle :

Elle décrit la présence d'un fort clivage entre la nouvelle génération née avec Internet, de ce fait appelée "natifs numériques", et l'ancienne génération alors nommée les "immigrants numériques".

La dépendance et l'apparition de nouvelles maladies :

C'est une chose à laquelle on ne pense pas forcément, néanmoins loin d'être laissée de côté, l'addiction peut être une conséquence notable de la société de l'information. Aussi, on ne peut qu'observer l'apparition de nouvelles maladies telles que la nomophobie (phobie de ne pas avoir son téléphone portable à portée de main), la cyberaddiction (besoin excessif et obsessionnel d'utiliser un ordinateur), la dépendance aux jeux vidéo ou aux réseaux sociaux, l'asociabilité, etc... De plus, les effets délétères des ondes hertziennes sur l'homme ne cessent de créer la polémique.

3) L'aspect politique

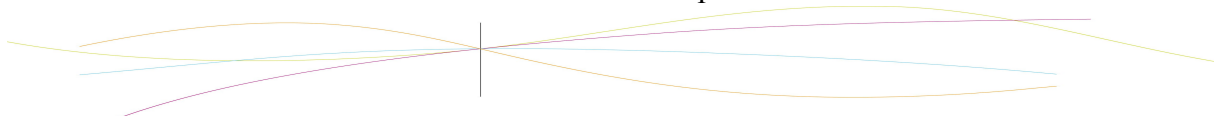
La société de l'information sert aussi beaucoup la politique notamment en termes de propagande, de géopolitique, de géostratégie à des fins militaires telles que l'écoute de conversations téléphoniques privées dans le cadre de l'espionnage.

4) La culture et le progrès

Le réel avantage des TIC est qu'elles sont une ouverture sur le monde. Mettant fin aux frontières, elles apportent l'information, la culture et la connaissance à tous ceux qui les utilisent. De plus, les TIC servent également certains corps de métier à réduire la pénibilité du travail.

5) L'aspect Frauduleux

En plus de renforcer certaines pratiques peu louables comme le dénigrement, l'exclusion sociale, l'épiage ou encore l'atteinte à l'intégrité d'une personne, la société de l'information et en particulier, l'utilisation des réseaux sociaux laisse de moins en moins de place à la vie privée d'une personne. En effet, la mise en réseau de données offre la possibilité de transmettre très facilement de l'information et peut rendre difficile le contrôle de la

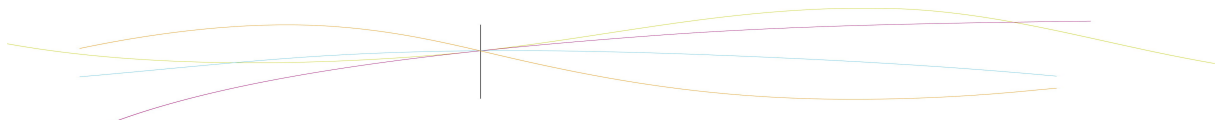


circulation de celle-ci. De plus, la création de certains fichiers numériques, contraire à l'éthique, peut être rendue très facile par l'usage des TIC.

L'usage des TIC a également renforcé le développement de certaines pratiques de fraudes : prélèvements bancaires frauduleux, vente de contrefaçons sur des sites d'e-commerce, détournement du système boursier, arnaques, etc.; et a facilité la violation des institutions étatiques. C'est précisément le cas lors de la création et la mise en ligne du fichier permettant la création d'une arme fantôme (sans numéro de série) : le pistolet "Liberator" par le biais d'une imprimante 3D.

Les industries du cinéma et du disque se sont vues très fragilisées, voire menacées, par l'apparition des sites de streaming, de Peer to Peer favorisant le téléchargement illégal de médias.

Nonobstant tous ces aspects, les TIC ont des conséquences sur de nombreux autres domaines comme les loisirs, la santé, l'éducation, et notamment l'environnement.



II/ Les impacts environnementaux causés par la société de l'information

1. Premières préoccupations environnementales en informatique: les 4 mauvaises hypothèses sur le rôle des TIC pour l'environnement

1) L'hypothèse du zéro papier

L'idée du zéro papier est apparue dans les années 1980 lorsque l'informatique a commencé à se développer. L'idée est simple, à cette époque, on pensait que l'émergence de l'informatique allait fortement diminuer la consommation de papier. En effet, on pensait qu'on allait pouvoir stocker une grande partie des documents sur ordinateur, or les chiffres montrent le contraire.

En effet, dans les pays développés, **la consommation de papier a fortement augmenté entre les années 1985 et 2000, soit de 20% dans les pays développés.** Et c'est dans cette même période que l'informatique a commencé à beaucoup se développer dans ces mêmes pays.

Plusieurs raisons expliquent cette forte augmentation de la consommation du papier : la principale est la modification de l'utilisation des documents papier. En effet, l'utilisation de ces derniers n'a clairement pas été supprimée avec le développement de l'informatique, leur manipulation est juste devenue plus simple par informatique. En effet, créer un document sur ordinateur est, dans la plupart des cas plus rapide, plus simple et le rendu est plus clair notamment en entreprise où beaucoup de documents papiers sont produits et en plusieurs exemplaires.

Apparemment, 43% des Français impriment plus de 50 pages par jour.

Une autre raison qui explique cette forte augmentation de la consommation de papier est le gaspillage de ce dernier depuis l'apparition de l'informatique. En effet, des chiffres montrent qu'**une page imprimée sur six n'est pas utilisée.** Seul l'utilisation du courrier électronique a été un point positif du développement de l'informatique par rapport à la consommation de papier et ce, même si certaines personnes ont avoué imprimer leurs courriels sur support papier pour les lire.

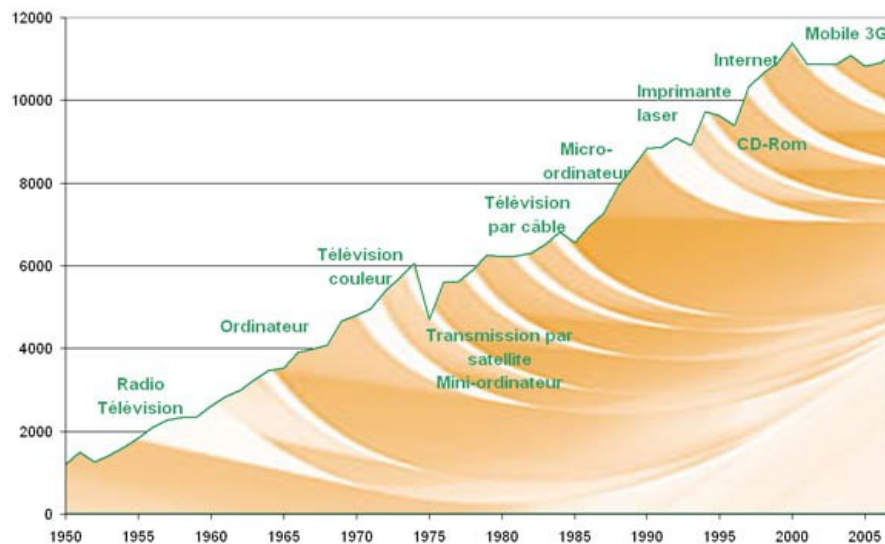


Illustration 7: Évolution de la consommation du papier depuis 1950 et

lien avec l'apparition des nouvelles technologies

2) L'hypothèse de la substitution pour les déplacements

Beaucoup de personnes pensaient que les nouveaux moyens de télécommunications allaient se substituer aux transports de personnes. Cette idée est notamment apparue avec l'invention de la visioconférence, or on a pu constater que malgré la hausse du nombre d'appels visio, le nombre de déplacements humains ne variait pas beaucoup. Autre exemple, entre 1990 et 1995 on a remarqué une augmentation de 11% des kilomètres parcourus par un individu alors que les moyens de télécommunications se développaient de façon importante.

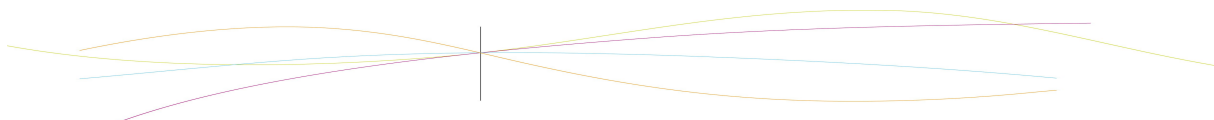
3) L'effet du commerce électronique sur les transports de marchandises

Si le commerce électronique permet de réduire les émissions de CO₂ lors de la prise de commande en évitant les déplacements, surtout pour des acheteurs en milieu rural, son impact environnemental reste mauvais à cause d'autres facteurs comme la logistique mise en place par ce type de vente notamment pour la livraison à domicile.

4) L'hypothèse d'une faible consommation électrique et empreinte carbone

Les chiffres montrent qu'en France, la consommation des TIC représente environ 58 TWh ce qui représente plus de 13% de l'électricité nationale. Ces 58 TWh se répartissent de la manière suivante, l'informatique représente environ 38% de la consommation électrique des TIC et l'audiovisuel ainsi que les télécommunications et autres matériels électroniques représenteraient plus de 60% de la consommation.

De plus, la consommation en électricité, essentiellement des serveurs et des centres de données, ne cesse d'augmenter et représente aujourd'hui près du quart des émissions de CO₂ générées par l'informatique.



2. Le cas des data-centers

Comme vue plus haut, les data-centers (ou centres de données) sont des lieux où l'on trouve une grande quantité d'appareils électriques. Mais, des enjeux environnementaux sont liés à ces data-centers pour plusieurs raisons : consommation électrique, refroidissement des machines de calculs etc...

Nous allons donc, dans cette partie, étudier la composition des datacenters pour mieux les définir et montrer combien ces derniers polluent.

1) Les composants du data-center

Les data-centers : Pour qui ? Et pourquoi ?

Les data-centers, ont, comme les TIC, bien évolué ces dernières années. En effet lors de leurs créations, ils avaient pour objectif de fournir un centre de stockage ainsi que de traitement de l'information avec un niveau de sécurité maximal pour les grandes entreprises internationales.

Mais ces derniers se sont développés et, aujourd'hui, des PME et même des particuliers font appels aux services de certains data-centers, pour des raisons économiques (plus rentable que d'investir dans son propre matériel) mais aussi pour pouvoir avoir accès :

- à un espace réseau :

L'architecture réseau d'un data center est composée : *de routeurs qui assurent le routage de trames pour transmettre des données, ainsi que de commutateurs (Switches) qui assurent la commutation, qui est l'autre mode de transport de trames au sein des réseaux informatiques.* Ces derniers assurent la liaison entre les serveurs et le monde extérieur.

Les liaisons principales se font soit en fibre optique (fil en verre ou en plastique), soit avec des câbles UTP.

De plus, les routeurs et commutateurs ont une double alimentation électrique et sont présents au moins en double (redondance) et un basculement est effectué en cas de panne.

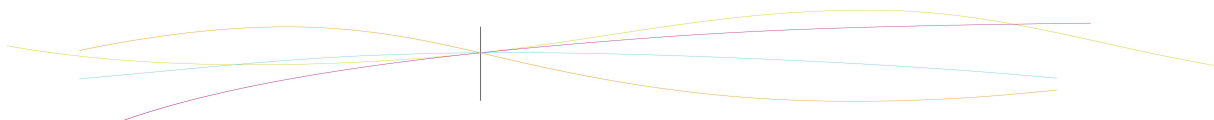
On y trouve aussi des équipements de sécurité réseau comme des pare-feux ou encore des systèmes de détection d'intrusion.

- à des serveurs et une connexion internet très haut débit :

Dans un data-center, on trouve tous les types de serveurs tournant sous des plateformes comme Windows ou Linux et pouvant héberger des bases de données, des sites internet etc...

Ces derniers possèdent un espace de stockage énorme.

De plus les connexions internet sont le plus souvent assurées par de la fibre optique de plusieurs fournisseurs pour obtenir un débit et une bande passante maximale, ainsi qu'un risque de panne limité. Ces connexions internet sont elles aussi redondantes.



Il existe donc plusieurs avantages à utiliser un data-center : serveur performant, connexion haut débit, gain de place, etc.

Mais un autre gros avantage des data-centers réside dans son système de sécurité.



Remarque : On peut voir sur cette photo les différents réseaux ainsi que les nombreux câbles reliant les différents appareils électriques.

2) La sécurité dans les data-centers

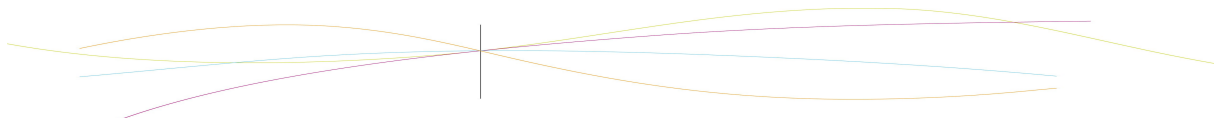
Comme nous l'avons vu, les appareils électriques qui composent un datacenter produisent énormément de chaleur, c'est pourquoi un système de climatisation est nécessaire au bon fonctionnement de ces appareils.

Les systèmes de refroidissement

En effet, tous les data-centers sont équipés de système de refroidissement qui permettent l'intégrité des appareils électroniques.

Le principal système de refroidissement utilisé, est l'aspiration de l'air chaud produit par les appareils électriques et l'insufflation de l'air froid. L'organisation de ce système se fait en couloir :

un couloir sur deux insuffle de l'air froid, l'autre couloir aspire l'air chaud. La disposition des serveurs rend ce système efficace.



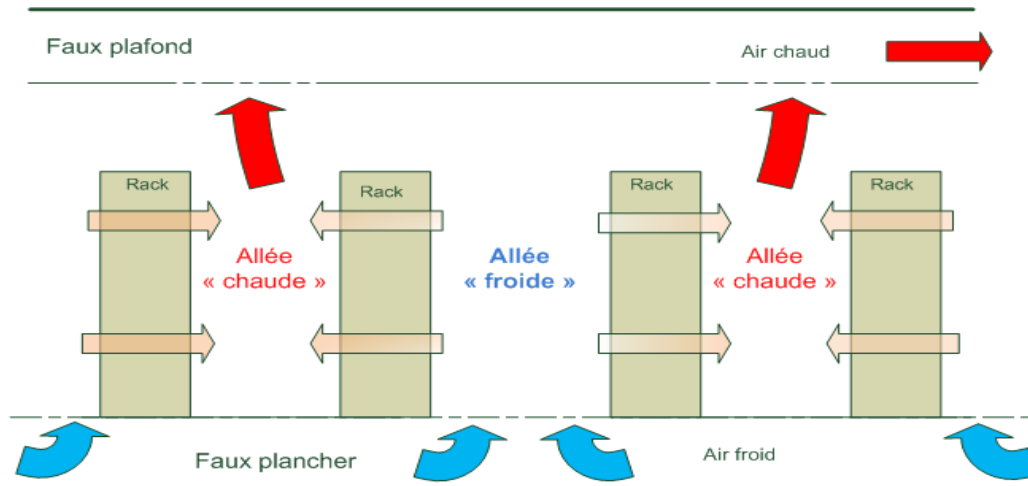


Illustration 9: Schéma d'un système de refroidissement

Il existe d'autres systèmes de refroidissement dans les data-centers tels que le refroidissement à eaux, bien plus efficace que le refroidissement à air, ainsi que le free cooling qui utilise l'air froid extérieur et limite l'utilisation des systèmes de refroidissement beaucoup trop polluants.

L'alimentation de secours

Une coupure de courant, même d'une demi-seconde, pourrait causer des dégâts très importants pour le data-center (arrêt des machines de calculs, pertes de certaines informations stockées...).

C'est pourquoi, chaque data-center est équipé d'une alimentation électrique de secours qui peut être fournie, soit par un onduleur qui permet de délivrer un courant continu le temps d'une courte panne, soit par un générateur électrique.

La redondance

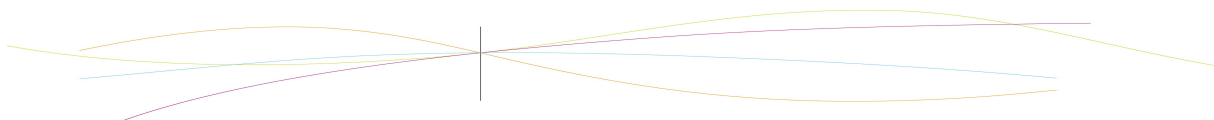
Pour pallier une perte d'alimentation électrique, toutes les composantes électriques y compris l'alimentation de secours, sont doublées. De plus, certains éléments essentiels du data-center sont alimentés par deux sources électriques, le plus souvent indépendantes du data-center.

Contre les incendies

Les data-centers présentent souvent deux systèmes d'alarme :

- un système de détections des particules chaudes émises par les composantes surchauffées, particules pouvant provoquer un incendie.
- un autre système permettant d'activer un ensemble d'activités si un incendie se manifeste.

De plus, les data-centers sont équipés de portes anti-feu ainsi que de plusieurs appareils de confinement permettant de contrôler un feu et de l'éteindre.



Les systèmes d'extinction utilisés sont des procédés complexes car les systèmes d'extinction classiques sont très nocifs pour les appareils contenus dans un data-center.

D'autres systèmes de sécurité comme le contrôle de la poussière dans un data-center, ou le contrôle des accès au data-center avec une surveillance 24h/24 garantissent une sécurité optimale à l'intérieur de ces centres qui sont des endroits stratégiques de la société de l'information.

En effet, comme certains data-centers hébergent les réseaux informatiques ainsi que les données de certaines multinationales, une seule coupure de courant, ou encore pire, un incendie aurait des conséquences catastrophiques réelles (pas seulement virtuelles) pour ces firmes.

3) Data-center et pollution

Malgré tous les avantages que présente un data-center, l'impact de ces derniers sur l'environnement constitue un problème majeur.

L'impact des data-centers sur l'environnement concerne essentiellement leur consommation électrique, leurs quantités de chaleur rejetées ainsi que leurs émissions en carbone.

La consommation électrique des data-centers

Les appareils qui composent les data-centers, sont de très gros consommateurs électriques.

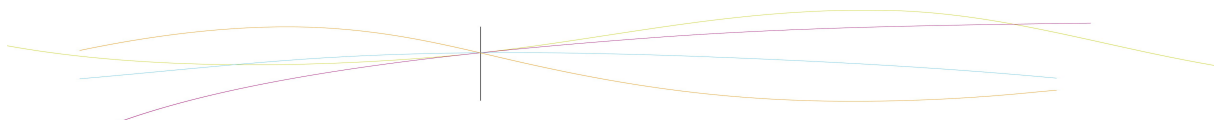
En effet, les armoires réseaux ainsi que les systèmes de routages et les commutateurs sont des appareils qui ont un gros besoin en électricité.

De plus, les systèmes de connexion internet, de refroidissement ainsi que les systèmes d'alimentations de secours sont également de très gros consommateurs électriques. La répartition de la consommation électrique est la suivante dans la majorité des data-centers, 40% de l'électricité consommée par les centres va aux équipements électroniques (ordinateurs, appareils de stockage...), 40% sert à la climatisation des salles, et les 20% restant vont pour les appareils liés à la distribution électrique (onduleurs, alimentations de secours...).

Voici quelques chiffres :

- En France, les data-centers consomment près de 9% de l'électricité nationale.
- En Europe, les data-centers consomment 56 Twh, dont 25 pour refroidir les centres
- Aux Etats-Unis, les centres utilisent près de 2,5% de la production d'électricité américaine.

Une telle différence entre la France et les Etats-Unis s'explique par le fait que les EU produisent beaucoup plus d'électricité que la France et donc la consommation des data-centers (bien que presque six fois plus nombreux) est moins visible sur la production du pays entier. Pour donner un exemple, certains datacenters de Facebook ou Google aux Etats-Unis ont une consommation électrique comparable à des villes comme Bordeaux ou Strasbourg.



La production de chaleur des data-centers

Les data-centers émettent beaucoup de chaleur à cause des appareils électriques s'y trouvant.

De plus ces derniers sont constamment refroidis. Mais le plus dangereux pour l'environnement réside dans le fait que toute la chaleur produite par les data-centers est gaspillée et le plus souvent rejetée directement dans l'environnement. Les data-centers participent donc au réchauffement climatique.

Les émissions carbone des data-centers

Les data-centers du monde seraient responsables de 2% des émissions totales de la planète.

De plus, on parle de 359 Mégatonnes de CO₂ émis d'ici 2020, soit autant que 50% des voitures aux Etats-Unis et autant que l'aviation mondiale. Ces émissions de CO₂ s'explique par l'électricité consommée par les data-centers, en effet celle-ci est souvent produite par des centrales qui, en fonction de leur localisation, produisent plus ou moins de CO₂.

Même si les data-centers sont des lieux clefs de la société de l'information, nous avons pu voir que ces derniers sont très nocifs pour l'environnement (très gros consommateurs d'énergie et très polluants). Cependant des solutions existent et feront l'objet de notre partie III.

4) Etude de cas : Le datacenter du Crihan

Comme dit précédemment, la société de l'information a une énorme influence dans divers domaines. Néanmoins, le domaine le plus inquiétant reste celui de l'environnement. En effet, les impacts sur ce dernier sont innombrables et une grande partie d'entre eux sont engendrés par les data-centers. Suite à cette constatation, nous avons jugé intéressant de visiter un de ces centres de données et ainsi découvrir le réel effet qu'il causait sur l'environnement.

Le data-center du CRIHAN est un data-center régional situé à Saint-Etienne du Rouvray.

C'est une structure associative qui emploie 12 personnes.

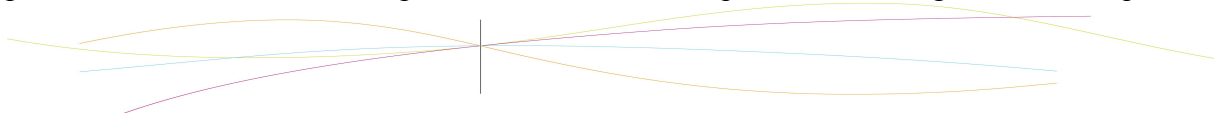
Le CRIHAN à 2 activités principales, à savoir :

- Le Réseau régional SYRHANO (réseau servant à l'enseignement supérieur, permettant également d'avoir accès au centre de calcul du data-center).
- Le Centre de calcul et de stockage.

CRIHAN a récemment ouvert (2012) le CDR afin de transférer ses équipements dans un espace plus grand et donc plus approprié au centre de calcul dont la capacité ne cesse d'augmenter.

Le CDR (Centre de Données Régional)

Le CDR est un bâtiment qui a été bâti en 2012 afin de pallier le manque d'espace de CRIHAN et donc l'incapacité d'augmenter la puissance du Centre de calcul. Il est également très utilisé par les chercheurs et ce dans plusieurs domaines tels que la météorologie, la mécanique des



fluides et des solides, la chimie, la physique des matériaux ... De plus, il a permis à l'association de passer à de nouvelles normes de refroidissement relativement moins chères que les précédentes.

Il comporte au total 6 Travées dont 2 sont encore inutilisées.

La fonction de chaque travée diffère :

- une est réservée au fonctionnement du réseau SYRHANO
- une autre au fonctionnement des équipements CRIHAN
- une suivante au Centre de calcul
- enfin une petite partie de la dernière est réservée à des outils informatiques appartenant à l'École Centrale de Nantes.

Remarque : Une salle d'onduleur prend en charge le fonctionnement du CDR en cas de coupure électrique. Ceci dit, il s'agit là d'une alternative temporaire au groupe électrogène.

Nous avons donc pu observer les différentes machines de calcul dans différentes travées et voir la quantité de chaleur rejetée par ces machines. (réf :ANNEXE 1)

Le Réseau régional SYRHANO :

Interconnexion de réseaux publics et privées appartenant à différents établissements de la région Haute Normandie tels que des écoles supérieures, collèges, lycées, le rectorat, etc...

Le Centre de calcul « ANTARÈS »

Qu'est-ce que c'est ?

Le Centre de calcul héberge un ensemble de 327 serveurs interconnectés (Principe du « clustering »), à savoir :

- 158 nœuds de 8 cœurs à 24 Go de RAM
- 141 nœuds de 12 cœurs à 48 Go de RAM
- 3 nœuds de 12 cœurs à 96 Go de RAM
- 12 nœuds spécialisées Inlet/Outlet
- 13 nœuds hybrides CPU/GPU (graphique)

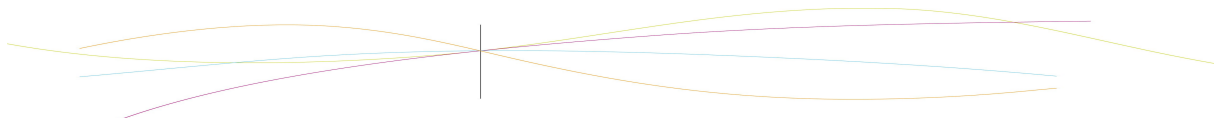
Donc un total de 47 - 50 Tflops CPU/ 23 Tflops GPU et 3292 cœurs CPU et 12 To de RAM.

(1 Tflop = 10^{12} opérations)

A tout cela s'ajoute une unité de stockage de 280 To de disques partagés, une connexion 2x10Gbit/s sur SYRHANO.

A quoi ça sert ?

Le Centre de calcul est mis à disposition de tous ceux qui en font la demande et est donc disponible à partir du réseau SYRHANO, lui-même relié au réseau international RENATER. Il s'agit pour CRIHAN, de faire une mutualisation des ressources.



Et la consommation dans tout cela ?

La consommation du Centre de calcul s'élève aujourd'hui à 77,40 KW ce qui dépasse largement la consommation des autres travées qui ne dépassent pas les 8KW.

Comment le système est-il refroidi ?

CRIHAN, qui jusqu'en 2012 refroidissait à l'aide d'armoires froides et portes à eau, a mis en place un nouveau système climatique (Free Cooling) comportant 3 gros ventilateurs, 5 compresseurs ainsi qu'une unité de refroidissement. Depuis ce changement, 1 KW fourni équivaut à 300 W en froid.

Et son impact sur l'environnement ?

L'association vise aujourd'hui un PUE (définition partie III) de 1,3 (soit 1KW utile = 1,3 KW) alors qu'avant, il visait un PUE de 1,8 – 2,0 ce qui était bien plus mauvais pour l'environnement.

A savoir, CRIHAN augmente sa capacité tous les 4-5 ans. Ceci implique donc l'achat d'une nouvelle machine permettant une multiplication par 10 de la puissance augmentant inévitablement l'impact environnemental.

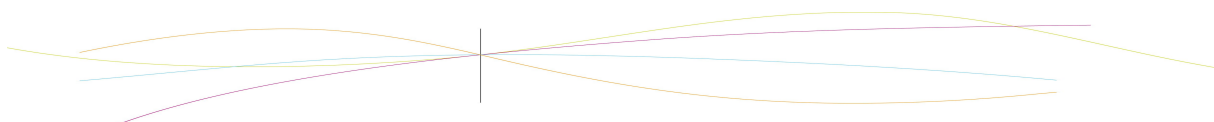
Néanmoins, CRIHAN est et reste un centre de données régional. Ce centre n'a même pas de normes environnementales imposées. Les réels impacts sur l'environnement sont plutôt occasionnés par de plus gros data-centers tels que Google, Facebook, etc.

3. Les TIC

Nous sommes certainement nombreux à penser que la pollution causée par la société de l'information est due presque intégralement aux Centres de Données. Pourtant, les Technologies de l'Information et de la Communication ont elles aussi leur part de responsabilité en ce qui concerne la pollution environnementale.

Reprenant une trame posée par Berkhout et Hertin en 2001, Lorenz M. Hilty, professeur au Département d'Informatique de l'Université de Zurich, publie en 2008 un essai dans lequel il examine la relation entre les TIC et l'environnement sous l'angle de trois effets différents, à savoir :

- ***Les effets de premier ordre*** : concernent les effets directement causés par les TIC sur toute la durée de leur cycle de vie (conception, production, distribution, utilisation, entretien, recyclage, élimination).
- ***Les effets de deuxième ordre*** : représentent les impacts environnementaux indirects causés par l'application et l'utilisation des TIC dans d'autres secteurs tels que l'économie, les institutions gouvernementales et publiques, les communautés de la recherche et universitaires, etc...
- ***Les effets de troisième ordre ou effets systémiques*** : les TIC ayant la capacité de modifier les structures économiques et sociétales, telles que les comportements de consommation ou l'organisation-même de nos sociétés (passage des infrastructures



informationnelles et communicationnelles au numérique, utilisation massive d’Internet dans tous les domaines et par tous les acteurs, etc...).¹

Tableau 1 - Cadre conceptuel d’analyse des liens entre TIC et environnement

Type d’effet	Niveau d’influence	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème	
De 1 ^{er} ordre (directs)	TIC elles-mêmes ↓	Fabriquer plus avec moins	Cycle de vie des TIC	Production
				Utilisation
De 2 ^{ème} ordre (indirects)	Applications des TIC à d’autres secteurs ↓	Effets d’optimisation	Effets d’induction	
		Effets de substitution		
De 3 ^{ème} ordre (systémiques)	Changement social	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée	Effets rebond	
			Nouvelles infrastructures critiques d’information	

Source : Adaptation du tableau présenté en page 147 du livre de Hilty.

Néanmoins, Hilty souligne le fait que l’ampleur des effets des TIC sur l’environnement est très dépendante du système de mesure mis en place. Il est donc indispensable, selon lui d’évaluer de façon détaillée tous les effets des TIC afin de ne pas en surévaluer ou sous-estimer les impacts environnementaux.

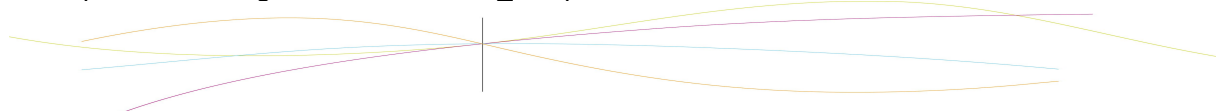
Une manière d’évaluer l’impact environnemental engendré par les TIC est l’Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Qu’est-ce que l’ACV ?

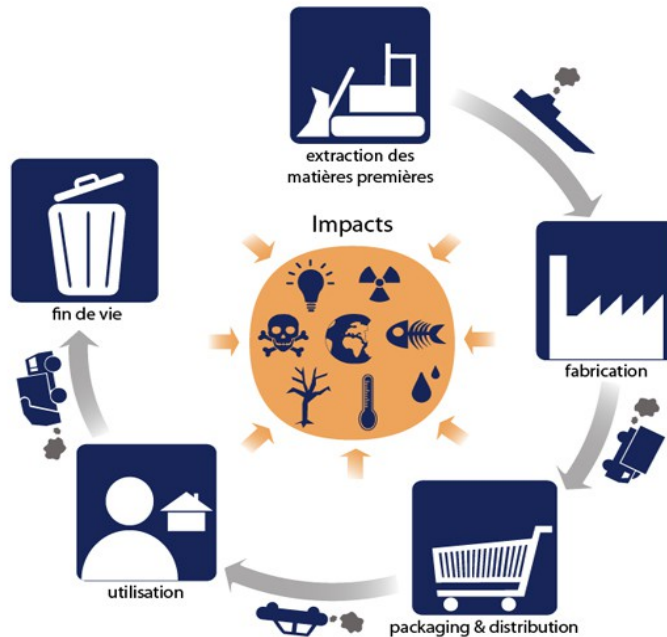
Selon la définition de l’Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Énergie (ADEME), "l’analyse du cycle de vie est une méthode d’évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d’un produit (équipement, service ou procédé) sur l’ensemble de son cycle de vie, depuis l’extraction des matières premières qui le composent jusqu’à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de fabrication, distribution et d’utilisation. "Il s’agit donc d’un outil normalisé, reconnu et abouti en termes d’évaluation globale et multicritère.

En effet, son principe est "d’inventorier les flux de matières et d’énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie d’un produit. A partir de ces données, on procède à une évaluation des impacts environnementaux, les plus couramment retenus étant l’effet de serre, l’acidification, l’eutrophisation, l’épuisement des ressources naturelles. On retient également en général comme indicateurs la consommation d’énergie et la quantité de déchets générés."

1 http://www.iisd.org/infosoc/icts/default_fr.asp



L'approche cycle de vie



En suivant le cycle de vie des TIC, on retrouve plusieurs impacts environnementaux redondants, notamment ceux causés par :

- la pression sur les matières premières
- des transports dans tous les sens
- une consommation énergétique en hausse constante
- l'obsolescence des déchets en masse

1) La pression sur les matières premières

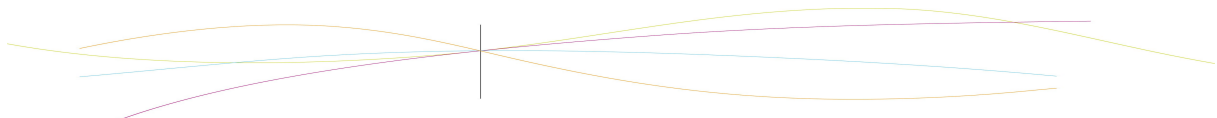
Ainsi, on remarque bien le fait que les TIC polluent à tous leurs stades de vie, soit de la conception jusqu'à leur transformation en e-déchets. En vérité, les TIC commencent à polluer même avant leur conception.

En effet, nombreuses sont les sources qui font état d'une soixantaine de métaux impliqués dans la fabrication des équipements électroniques de notre quotidien tels que les ordinateurs, téléphones portables, tablettes numériques, etc...

Mais pourquoi s'intéresser à ce phénomène ?

Des études montrent, depuis plusieurs années, les TIC comme l'une des industries ayant le plus fort impact sur l'environnement par unité produite. C'est notamment la thèse défendue par Eric D. Williams, Robert Ayres et Miriam Heller, chercheurs de l'Université des Nations Unies, en 2002.

Une autre thèse montre que la demande en métal pour la fabrication de TIC dans les industries de hautes technologies a plus que triplé au cours des 20 aux 30 dernières années. Conséquemment, *la sollicitation des métaux dans la table de Mendeleïev est passée de 10,*



dans les années 1980, à 60 métaux dans les années 2010 selon un rapport publié en 2011 par l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques.

D'après un rapport de l'Union Européenne, certains des métaux déjà usés vont être de plus en plus sollicités par les industries de pointe d'ici 2030. Ainsi, *le gallium (Ga) va voir sa demande multipliée par plus de 22, l'indium (In) et le germanium (Ge) par 8, le néodyme (Nd) par 7, le titane (Ti) par 4, le cuivre (Cu) et le palladium (Pa) par 3,5 et l'argent (Ar) par 3.*

Raw material	Production 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2006 (t)	Demand from emerging technologies 2030 (t)	Indicator ¹ 2006	Indicator ¹ 2030
Gallium	152	28	603	0,18	3,97
Indium	581	234	1.911	0,40	3,29
Germanium	100	28	220	0,28	2,20
Neodymium (rare earth)	16.800	4.000	27.900	0,23	1,66
Platinum (PGM)	255	very small	345	0	1,35
Tantalum	1.384	551	1.410	0,40	1,02
Silver	19.051	5.342	15.823	0,28	0,83
Cobalt	62.279	12.820	26.860	0,21	0,43
Palladium (PGM)	267	23	77	0,09	0,29
Titanium	7.211.000 ²	15.397	58.148	0,08	0,29
Copper	15.093.000	1.410.000	3.696.070	0,09	0,24

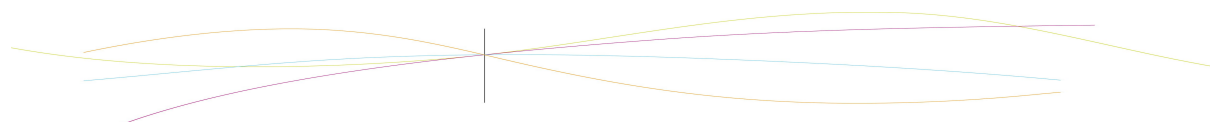
¹ The indicator measures the share of the demand resulting from driving emerging technologies in total today's demand of each raw material in 2006 and 2030;

² Ore concentrate

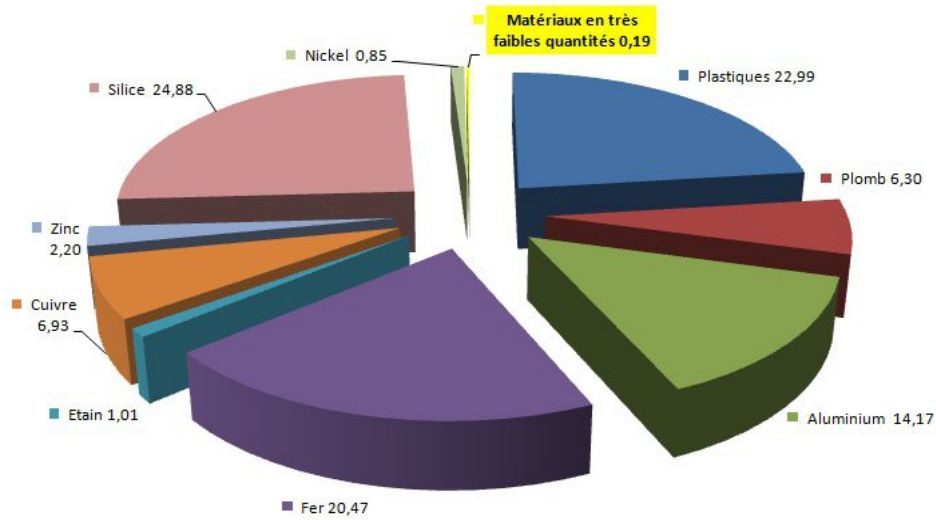
De ce fait, l'utilisation des métaux dans la fabrication des TIC est incontournable et donc, l'évolution des concentrations de métaux dans le minerai est à la baisse et ce, depuis plusieurs décennies.

En 2004, une autre étude réalisée par Eric D. Williams et Ruediger Kuehr, lui aussi chercheur à l'université des Nations unies, a conclu sur la dangerosité des composants électroniques assemblés dans les ordinateurs pour l'environnement. Mandatés par l'ONU, ils ont établi que *la fabrication d'un ordinateur ne nécessite pas moins de 1,5 tonnes d'eau, 240 kg de combustibles fossiles et 22 kg de produits chimiques, soit au total le poids d'une voiture !*

Plus précisément, une étude réalisée en 2013 par l'UNEP (United Nations Environment Programme), présente 36 matériaux employés dans la production d'ordinateurs fixes, parmi lesquels certains matériaux employés dans des quantités plus réduites dont l'accès est jugé particulièrement critique par les instances internationales.

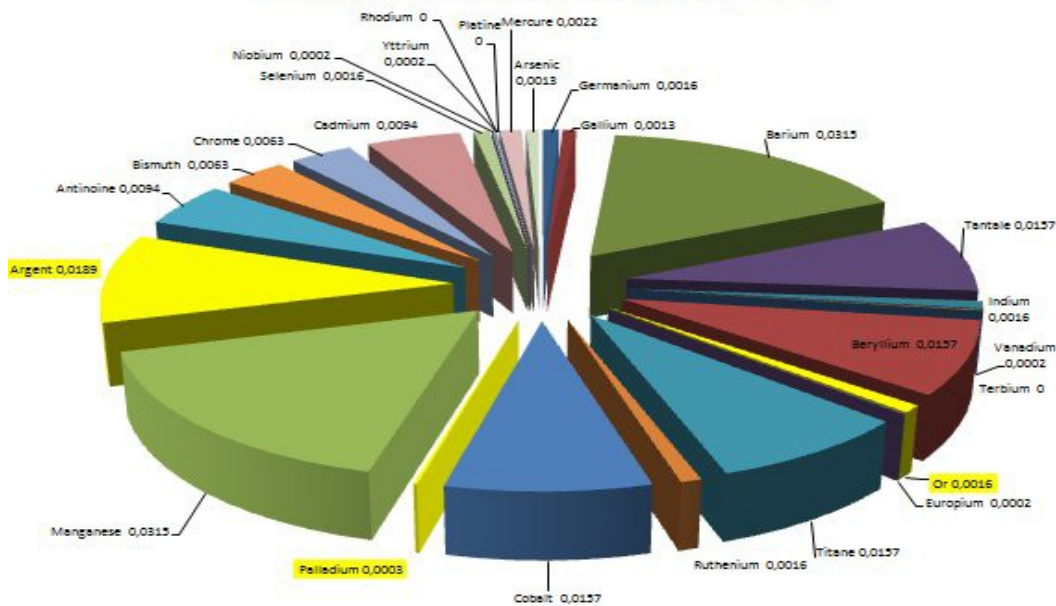


Contenu d'un PC (% du poids total)



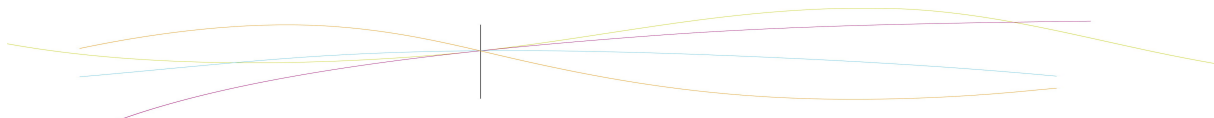
Source : Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure (UNEP, 2013)

Matériaux en très faibles quantité (% du poids total)



Source : Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure (UNEP, 2013)

Ces quantités peuvent paraître infimes. Néanmoins, le nombre d'équipements électroniques produits chaque année consomme une quantité non négligeable de la production mondiale de métaux. *A savoir que, par exemple, plus de 66% de la production mondiale de tantale (Ta) est consacrée aux TIC, 50% pour l'indium (In), 48% pour le gallium (Ga), 44% pour l'étain (Sn), 42% pour le cuivre (Cu), 21% pour l'argent (Ag) et 20% pour le lithium...*



De plus, il est notable que l'on recensera **plus de 2 milliards d'ordinateurs portables dans le monde d'ici 2015**, selon une étude menée par le cabinet Forrester en 2007. Et il est certain que la fabrication de ces derniers nécessitera une énergie considérable.

Il est donc certain que la réalisation des composants de ces derniers nécessitera la consommation très importante de métaux précieux et terres rares ainsi que la libération de gaz à effet de serre dans l'atmosphère due à leur extraction.

En somme, en plus d'entraîner l'épuisement de ressources non renouvelables, on est forcé de constater que la multiplication incessante des TIC est et reste une source de pollution par : l'extraction de métaux dans des endroits de plus en plus difficile d'accès, leur essentiel degré élevé de pureté et leur transformation en composants électroniques.⁵ Voir ANNEXE 2

2) Des transports dans tous les sens

S'il y a un point que l'on retrouve à tous les stades du cycle de vie des TIC, c'est bien le transport. En effet, une enquête menée par Green IT a démontré que nos ordinateurs voyageaient beaucoup plus que nous !

De cette façon, il est amusant de désosser son PC et finalement se rendre compte, que l'on peut faire le tour du monde rien qu'en restant chez soi.

Green IT nous décrit alors, le parcours "type" des ordinateurs commercialisés un peu partout en Europe, à savoir que la plupart des composants (carte mère, disque dur et micro-processeur, etc...) sont importés d'Asie, assemblés dans les Balkans puis l'ordinateur sous sa forme définitive sera sûrement stocké dans un entrepôt néerlandais avant d'être enfin distribué aux quatre coins de l'Europe.

Cet itinéraire qualifié de drôle est en réalité un long et fastidieux trajet qui coûte cher à l'environnement. Effectivement, les ordinateurs voyageant majoritairement en avion, le coût environnemental est lourd pour ce qui concerne la partie transport.

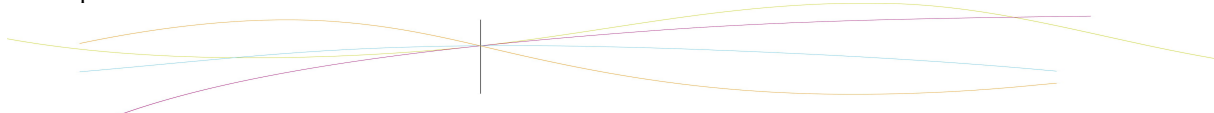
De plus, rappelons-nous qu'**un ordinateur fixe accompagné d'un écran 17 pouces nécessite au départ 1,8 tonne de matériaux, soit 240 kilos de combustibles fossiles, 22 kilos de produits chimiques et 1 500 L d'eau ! Ainsi, les matières premières utilisées pèsent près de 100 fois le poids final d'un PC! En comparaison, la fabrication d'une voiture ne nécessite que deux fois son poids.** Ce constat ne fait qu'aggraver le fait que les phases de distribution et transports pèsent lourds en dioxyde de carbone.

3) Une consommation énergétique en hausse constante

Peu d'entre nous y pensent, pourtant c'est un phénomène que l'on ne peut négliger et qui mérite d'être décrypté. Des smartphones aux télévisions connectées, en passant par les micro-ordinateurs, tous ces appareils sont de véritables ogres silencieux !

De cette manière, une étude a été réalisée en 2013 par Mark Mills, physicien américain et PDG de Digital Power Group, dans le but de mettre en évidence la consommation énergétique des TIC.

5 <http://ecoinfo.cnrs.fr/article323.html>



Selon celle-ci, *les TIC consommeraient au niveau mondial, en moyenne 1500 TWh d'électricité par an, ce qui représenterait aujourd'hui 10% de la production électrique mondiale. Pour donner un ordre de grandeur, ce chiffre gargantuesque représente également la production conjointe du Japon et de l'Allemagne.*

A titre d'exemple, *Marks Mills affirme qu'un iPhone et les services qui lui sont liés (batterie, wifi, téléchargements, échanges de données, etc...) grignoteraient 361 kWh par an, tandis qu'un réfrigérateur consommerait 39 kWh de moins, soit au total 322 kWh.*

A l'instar, nous sommes obligés de constater qu'*un ordinateur de bureau consomme en moyenne 329 kWh/an.³ Sachant que les entreprises remplacent une machine tous les 3 ans, nous pouvons conclure qu'un PC consomme environ 660 kWh sur 2 ans et 1 000 kWh sur 3 ans.*

En somme, l'énergie liée à l'utilisation d'un ordinateur représente 50% sur un cycle de vie de 3 ans ou 67% sur un cycle de vie de 6 ans. Par conséquent, la quantité d'énergie dépensée au fonctionnement de la machine a un impact important sur l'ensemble de son cycle de vie.

En France, c'est le même bilan :

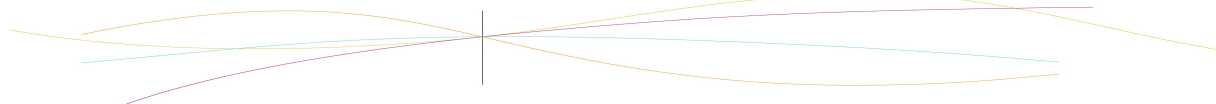
D'après un rapport de la CGEDD élaboré en décembre 2008, la consommation électrique annuelle des TIC en France se décompose selon le tableau qui suit :

La consommation électrique des TIC 13,5 % de la consommation électrique française en augmentation de 10% par an	TWh/an	
Postes de travail informatiques (ordinateurs, écrans, imprimantes) résidentiels	7	
Postes de travail informatiques professionnels	11	
Serveurs et centres de données (dont la moitié en climatisation !)	4	
Total de l'informatique	22	38%
Total de l'audiovisuel (Téléviseurs, magnétoscopes)	16,5	28%
Télécoms et autres matériels électroniques (dont 0,1 par les téléphones mobiles)	20,1	34%

Le total s'élève ainsi environ à 58,5 TWh de consommation électrique annuelle, soit 13,5 % de la consommation électrique française, évaluée à 434 TWh en 2008.

Cette étude nous permet également de constater que *la consommation audiovisuelle des ménages français s'élève à 14,5 TWh/an (en comptant les postes secondaires) et est donc largement supérieure aux 7 TWh/an consommés par les ordinateurs et leurs périphériques*

3 Etude 2008 Enertech : <http://www.greenit.fr/article/energie/energie-grise-et-informatique-verte>



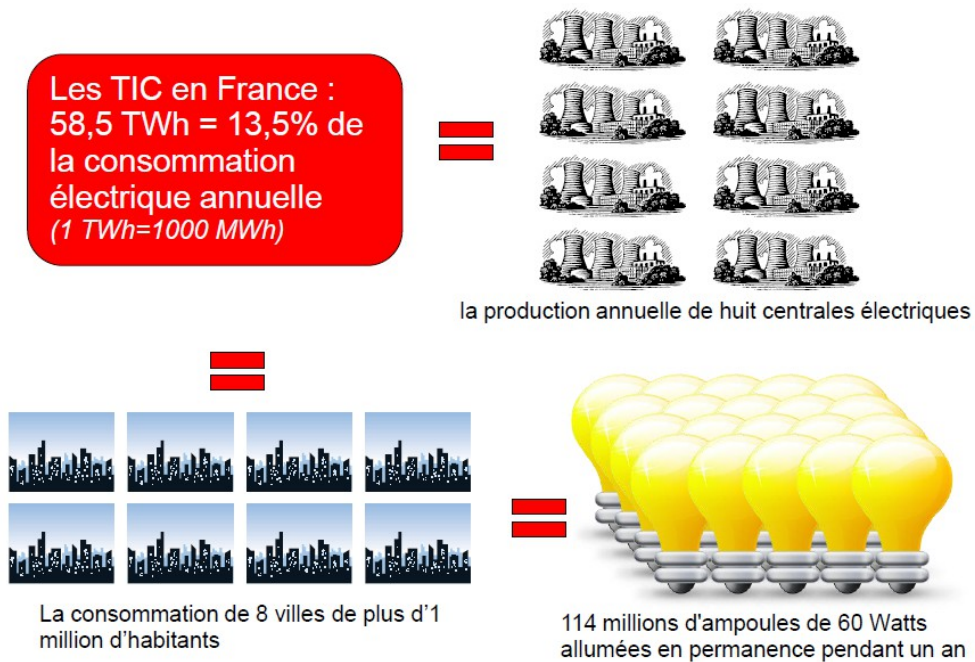


Illustration 11 extraite du document "Impacts des TIC" d'EcolInfo

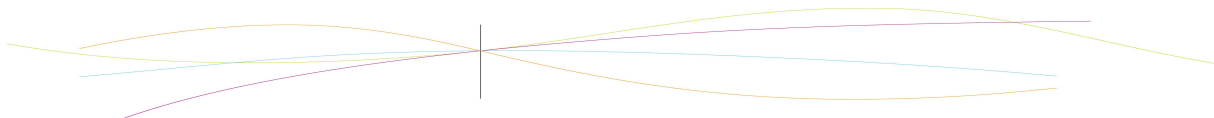
Cela ne va pas changer avec le temps car si le rapport date de 2008, période où la plupart des foyers possédaient encore un téléviseur cathodique, la CGEDD suppose néanmoins que le remplacement de ces téléviseurs par un écran plat connaîtra une forte accélération. Or selon eux, **le téléviseur cathodique consommerait 80W contre 200 à 250 W en moyenne pour un écran LCD**. On peut donc conclure sur le fait que les postes de télévision sont et resteront sans aucun doute, les TIC les plus polluantes en France.

De plus, il ne faut pas omettre que l'arrivée des nouvelles générations de téléphones portables, avec des écrans de plus en plus grands et leurs nouveaux services (télévision mobile à la demande, réseau 4G, etc...) jouent en faveur d'une consommation électrique accrue.

De même, il faut également compter l'installation de boîtiers télécoms de plus en plus sophistiqués ; **les nouvelles box, incluant désormais un disque dur intégré, consommeraient 28 W contre 15 W en 2008**.

Toujours d'après l'étude, la seule perspective favorable à l'environnement est constituée par la généralisation des ordinateurs portables, consommant nettement moins que les ordinateurs fixes. Pourtant, cette baisse risque d'être occultée par la massification du marché : les ordinateurs portables étant aujourd'hui disponibles à 300 euros, le parc d'ordinateurs français s'est sûrement accru ainsi que leur consommation. **En supposant le maintien du taux de croissance actuel moyen de 10 %, la CGEDD n'hésite pas à penser en 2008, que les 20 % de la consommation électrique française seront atteints dès 2012**.

Aucune autre analyse sur le sujet ayant vue le jour depuis, nous ne pouvons affirmer ce dernier chiffre, pourtant les informations qui précèdent, montrant que les TIC sont de plus en plus énergivores, nous laissent juger de sa véracité.



4) L'obsolescence

L'ADEME a publié en Juillet 2012, une étude sur la durée de vie des Équipements Électriques et Électroniques (EEE) afin d'en comprendre les enjeux environnementaux, techniques et financiers.

Qu'est-ce que la durée de vie d'un EEE?

Un premier constat est qu'il n'existe aucune définition standard de la notion de " durée de vie " des EEE. Ainsi, l'ADEME nous propose 4 définitions clés :

- **La durée normative :** Durée de fonctionnement moyen d'un EEE, mesurée dans des conditions spécifiques de tests.
- **La durée d'usage :** Laps de temps pendant lequel le produit est utilisé par un utilisateur donné. **La durée d'usage totale** est la somme des durées d'usage.
- **La durée d'existence :** Laps de temps entre la fin de fabrication du produit et son élimination, sa valorisation ou son recyclage.
- **La durée de détention :** Temps écoulé entre sa date d'entrée dans le foyer (pas nécessairement neuf) et sa date de sortie, quel qu'en soit son état. Elle inclut la possible réparation.

Remarque : La durée normative ne se mesure qu'en conditions de tests et ne peut être positionnée par rapport aux autres durées de vie. Elle n'est donc pas représentée sur la figure.

Il est clair que la durée de vie d'un EEE est liée à la notion d' " obsolescence " et plus encore à celle d' " obsolescence programmée ".

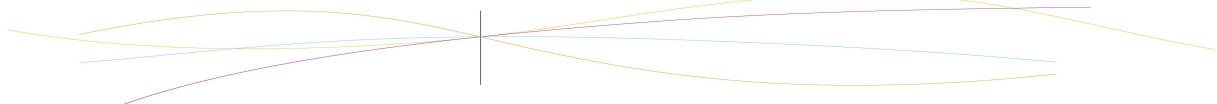
Qu'est-ce que l'obsolescence ?

En repartant des définitions de l'ADEME, l'obsolescence peut être divisée en deux grands types⁴ :

- **L'obsolescence fonctionnelle** correspond au fait qu'un produit ne réponde plus aux nouveaux usages attendus, pour des raisons techniques, réglementaires et/ou économiques.
- **L'obsolescence d'évolution** correspond au fait qu'un produit ne réponde plus aux envies des utilisateurs qui souhaitent acquérir un nouveau modèle du fait d'une évolution de fonctionnalité ou de design.

Néanmoins, le type d'obsolescence qui cause le plus d'impacts sur l'environnement est sans nul doute l' " obsolescence programmée ".

4 En se fondant sur le rapport d'information déposé à l'Assemblée Nationale en 2011, il est possible de préciser et d'établir différents types d'obsolescence fonctionnelle.



Qu'est-ce que l'obsolescence programmée ?

L'obsolescence programmée dénonce une stratégie par lequel un EEE verrait sa durée normative sciemment réduite dès sa conception, limitant sa durée d'usage pour des raisons de modèle économique.

Les ONG environnementales sont les principaux dénonciateurs de l'obsolescence programmée. Elles dénoncent certaines pratiques des constructeurs qui consisteraient à limiter la disponibilité des pièces détachées, la modularité des produits ou leur mise à jour, à bénéficier des incompatibilités des différents matériels et à mettre sur le marché des appareils moins robustes, afin de dynamiser la vente de nouveaux produits.

Quelques exemples d'obsolescence programmée :

– L'iPod d'Apple

Une des affaires les plus retentissantes reste l'affaire de 2005 concernant l'iPod de première, deuxième et troisième génération vendu par la marque Apple.

Pour obtenir un design futuriste, Apple n'installait pas de batteries amovibles. Il était donc impossible de changer la batterie quand elle tombait en panne. Par conséquent, quand **la batterie d'un produit de la marque Apple tombait en panne au bout de 18 mois, il fallait changer l'appareil tout entier**. La seule solution proposée par Apple était alors d'acheter un nouvel iPod.

Apple n'ayant pas prévu de batterie de remplacement, une class action contre " la marque à la pomme " fut lancée aux États-Unis. Apple décida alors de dédommager ses clients et de proposer des batteries de remplacement via son service après-vente.

– Les imprimantes à jet d'encre d'Epson

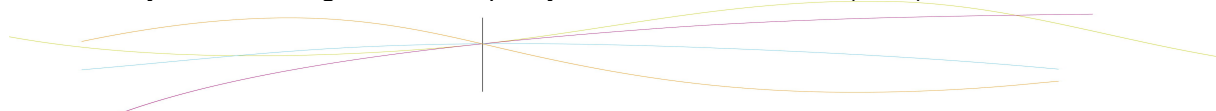
Dans le documentaire " *Prêt à jeter* " ⁵, on découvre une imprimante Epson en panne, affichant un message d'erreur alertant un tampon d'encre saturé. En réalité, **une puce aurait limité le fonctionnement de l'appareil à 18 000 impressions pour inciter l'utilisateur à la remplacer**. C'est sans compter sur un programmeur informatique russe, Vitaliy Kiselev, qui a réussi à créer un logiciel permettant de remettre à zéro le compteur de la puce et ainsi remettre les imprimantes Epson en état de marche. Gratuit, ce logiciel est téléchargeable depuis son site internet.

Réparer coûte trop cher ?

Alors que les achats d'équipements électroniques ont été multipliés par 6 entre 1990 et 2007, sur la même période, **les dépenses de réparation ont chuté de 40 %**.

Selon l'ADEME, **seuls 44 % des appareils qui tombent en panne sont réparés**. Pourtant, une étude TNS Sofres précise que près de la moitié des appareils sont fonctionnels ou réparables. En conséquence, **le nombre d'entreprises spécialisées dans la réparation a chuté de 22 % entre 2006 et 2009. Le prix d'achat d'un ordinateur a été divisé par 10 en 15 ans**, la

5 " Prêt à jeter " – The Light Bulb Conspiracy de Cosima Dannoritzer (2010) – Documentaire Arte



tendance est donc encore pire dans l'informatique où réparer revient souvent plus cher que remplacer.

De plus, les consommateurs ont aussi une influence importante sur les taux de réparation de par leurs comportements : d'une part, par leur envie ou non de réparer le produit et d'autre part, par leur décision économique basée sur une comparaison " Nouvel achat VS Réparation ".

Selon un rapport du CNIID et des Amis de la Terre (2010), la première cause de non-réparation des produits est l'attrait pour de nouvelles offres commerciales ou nouveaux produits qui vont alors remplacer ceux en panne.

C'est pourquoi les ONG environnementales dénoncent également les effets du marketing visant spécifiquement à inciter les utilisateurs à changer prématurément d'équipement pour bénéficier de nouvelles fonctionnalités et/ou d'une nouvelle esthétique. Ainsi, selon une de ces ONG, l' "**obsolescence commerciale programmée** " est une " stratégie par laquelle un bien voit sa durée d'usage chez le consommateur réduite par la mise sur le marché fréquente de modèles avec des fonctionnalités artificielles et/ou une esthétique améliorée ". Il s'agit là d'une situation qui concourt à réduire la durée de vie active des EEE.



5) Des déchets en masse

L'obsolescence programmée engendre des enjeux environnementaux majeurs à l'échelle planétaire. L'accumulation des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) entraîne de graves pollutions dans les pays du Sud.

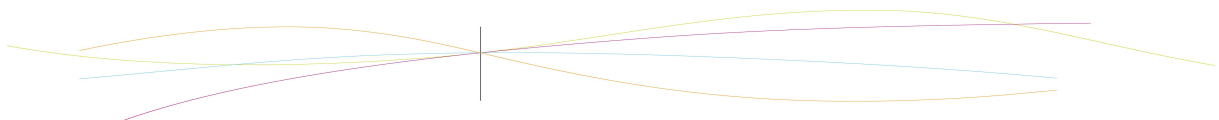
L'exportation illégale des e-déchets

La surproduction de déchets liée à l'obsolescence rapide des DEEE, engendre des coûts importants pour la collectivité au Nord mais également des pollutions lourdes dans les pays en voie de développement. Ainsi, de grandes quantités de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) sont produites en Europe et en Amérique et sont exportées de façon légale ou illégale dans des régions émergentes telles que la Chine l'Inde et le Ghana.

Pourtant depuis 1992, la convention internationale de Bâle interdit toute exportation de DEEE des pays membres de l'OCDE vers les pays non membres. Malgré cela, les gouvernements des pays producteurs se montrent incapables d'assurer en toute sécurité la fin de vie de ces déchets.

En effet, l'Agence fédérale de l'environnement allemande a observé *en 2010 qu'environ 155 000 tonnes de DEEE (principalement des écrans de télévision et des moniteurs d'ordinateurs) ont été exportées vers les pays du Sud.*

Un rapport de l'UNEP, agence de l'ONU, a révélé que *75% des conteneurs d'équipements électriques et électroniques usagés importés au Nigéria venaient d'Europe.*



Lors des activités de démontage de ces équipements et de récupération des matières premières, des substances très toxiques telles que le plomb et le mercure, s'échappent et polluent de manière importante l'environnement. *Selon le rapport de l'UNEP, 30.000 personnes vivent de ces activités au Ghana et au Nigéria, incluant beaucoup d'enfants.*



Illustration 12: Dans le bidonville d'Old Fadama, à Accra.

L'incapacité à recycler

L'impossibilité générale de recycler la plupart des e-déchets entraînent un traitement particulier des équipements électriques et électroniques (DEEE).

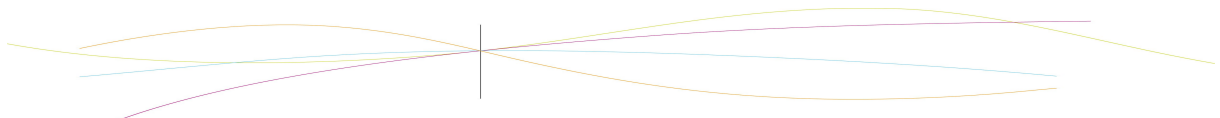
En effet, on a vu que les DEEE contenaient une multitude de métaux en infime quantité.

Cela explique le fait, qu'au lieu d'être recyclés, *ces produits sont pour 70% d'entre eux, incinérés, enfouis ou traités via des filières informelles dans les pays du Sud. Seulement 30% peuvent bénéficier de la collecte sélective et parmi eux 2% sont réemployés.*

Cependant, malgré la directive européenne sur le recyclage des DEEE qui rend prioritaires le réemploi et le recyclage face à l'élimination pure et simple, les pays riches cherchent à faire recycler ces déchets dans les pays du Sud où la réglementation environnementale est moindre.

Les conséquences environnementales

L'exportation des DEEE et leur recyclage ne sont pas sans conséquences. De ce fait, les trois régions les plus concernées par ces phénomènes, à savoir l'Inde, le Ghana et la Chine, sont sujets à la pollution environnementale.



Effectivement, le stockage des e-déchets pollue les sols et entraîne donc sa contamination, celle des nappes phréatiques et rend également impropre à la consommation les aliments issus de la chaîne alimentaire. C'est ainsi que la population se voit obligée d'obtenir de l'eau potable par camions.

De plus, l'environnement est aussi très pollué lors des phases de démantèlement, de récupération et d'élimination finale des matériaux dangereux car les substances toxiques sont directement déchargées dans les sols.

Le brûlage des fils électriques contribue à polluer l'air ambiant et à former des amas de cendres polluants.

Les combustibles toxiques polluent les sites d'incinération par le rejet de substances qui appauvrissent la couche d'ozone et qui contribuent à produire des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Les matériaux qui ne sont pas utiles sont enfouis sous terre ou abandonnés ce qui contribue à polluer l'environnement.

De même, les méthodes de recyclage qui y sont pratiquées s'avèrent extrêmement polluantes puisque l'utilisation de celles-ci émettent des fumées toxiques directement libérées dans la nature polluant ainsi l'eau, l'air et la biosphère.

Pour conclure cette partie, nous retiendrons le fait que les TIC polluent à tous leurs stades de vie, c'est à dire de leur conception à leur élimination ou recyclage, et que les facteurs d'augmentation de l'impact sur l'environnement sont liés à :

- La complexité du processus de fabrication des TIC (extraction, compacité et épuisement des métaux, transports des matières premières, etc...).
- La voracité énergétique en constante augmentation des TIC.
- La hausse des e-déchets liée au raccourcissement de la durée de vie et/ou d'utilisation due aux différents concepts d'obsolescence (programmé, esthétique, fonctionnelle...).
- La mise sur le marché d'équipements qu'on ne sait pas encore recycler efficacement.

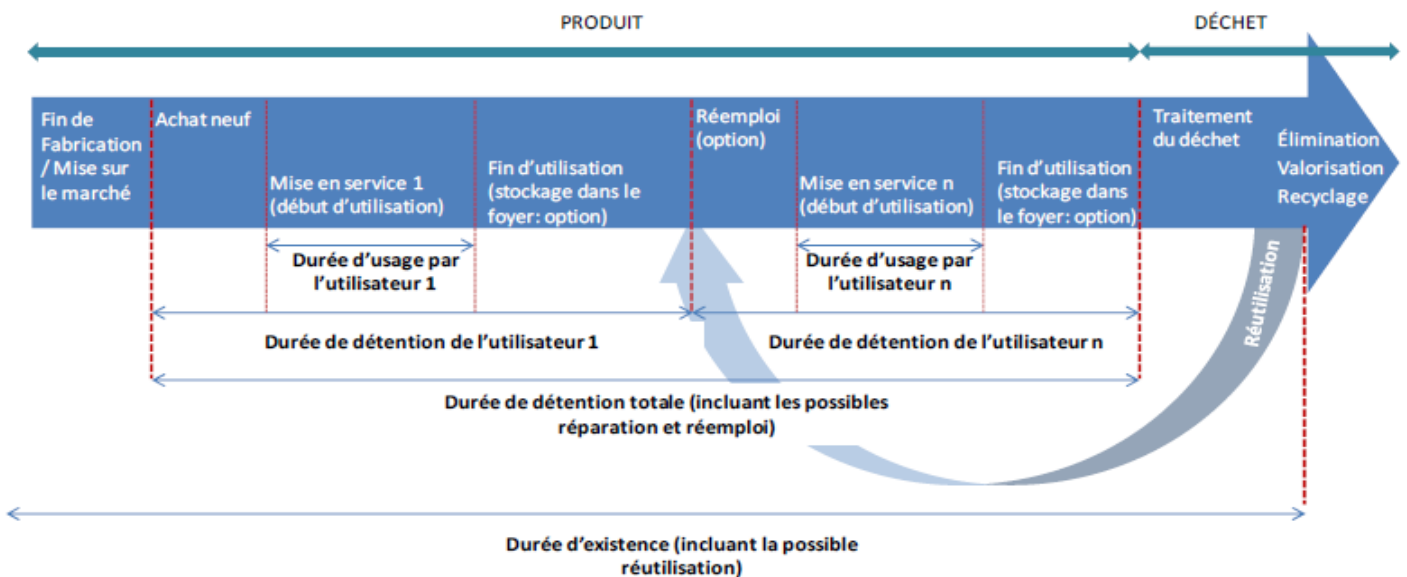
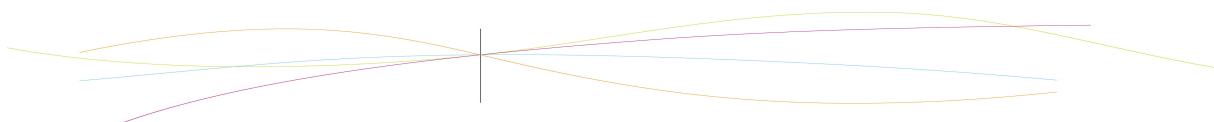


Figure 1 : Représentation schématique des différentes durées de vie



III/ Les solutions susceptibles de réduire l’empreinte écologique des TIC

1. Mesurer la société de l'information pour réglementer les TIC et les data-centers

1) Rappels de données et chiffres importants

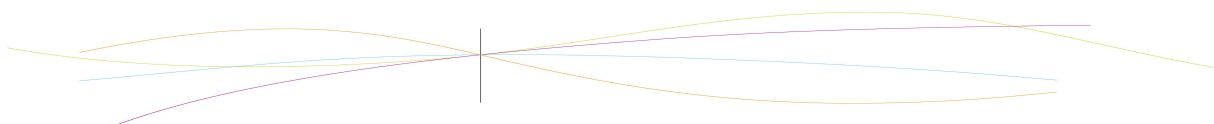
L’Union Internationale des Télécommunications qui est l’agence des Nations Unies spécialisée dans les Technologies de l’Information et de la Communication, a publié en 2012 et 2013 un rapport « Mesurer la société de l’information » qui met en évidence l’évolution des TIC dans le monde. Or trouver des solutions quant à la consommation excessive de certaines TIC ainsi que la pollution générée passe d’abord par mesurer ces excès. Il nous semble donc indispensable dans un premier temps de rappeler ces chiffres trouvés et étudiés par l’UIT.

Il est important de noter et comme dit précédemment (partie I), à la fin 2013 il y avait 6,8 milliards d’abonnements au cellulaire mobile soit le nombre d’habitants sur la planète. On dénombre aussi quelques 2,7 milliards d’internautes dans le monde et près de la moitié de la population mondiale se trouve à la portée d’un réseau 3G. En revanche le nombre de téléviseurs est plus élevé que le nombre d’ordinateurs avec accès internet, particulièrement dans les pays en développement (différence de 67 % entre les deux). Enfin le nombre de data-centers dans le monde est proche de 2100 ce qui est considérable.

Après avoir mesuré la société de l’information dans sa quantité il nous semble avisé de rappeler ici quelques chiffres mesurant la société de l’information en énergie. D’abord, on sait que les data-centers consomment quasiment 2 % de l’énergie mondiale, soit la production de 40 centrales nucléaires. A l’échelle européenne, la Commission estime cette consommation à 104 milliards de kilowatts en 2020. Un data-center consomme en électricité en moyenne 20 MégaWatts soit de quoi alimenter une ville d’environ 30 000 personnes.

De plus, les TIC utilisent presque 10 % de la consommation énergétique mondiale, autrement dit entre 1200 et 1800 TéraWatts-Heure par an. En France cela correspond à la production de huit centrales électriques c’est à dire entre 55 et 60 TWh.

D’un point de vue environnemental, il nous semble primordial de rappeler ces chiffres représentatifs : un mail équivaut à 20g d’émission de CO₂ et environ 507 milliards de mails sont envoyés par an, ce qui nous amène à un total de 10 millions de tonnes de CO₂ émis par an ! De même une requête web se traduit par 10g de CO₂ et d’après un article d’actu-environnement en France « cela grimpe à 288 000 tonnes en équivalent CO₂ par an, pour l’ensemble des internautes français. Un chiffre certainement sous-évalué, puisque l’ADEME s’appuie sur une hypothèse de 2,6 recherches par jour et par internaute. ». Le site décrit aussi l’impact environnemental de l’utilisation des clés USB qui est véritablement gigantesque : 804 grammes de CO₂ pour une lecture de 200 pages en prenant trois minutes par pages.



2) Le développement des TIC et la nécessité de trouver une solution

Ces quelques chiffres sont encore plus clairs si l'on tient compte du développement des TIC. En effet, l'UIT s'est particulièrement intéressée à cet aspect dans son rapport ce qui permet de nous donner une idée du statut des TIC dans le monde. Comme dit dans la partie I.3, l'IDI (ou indice de développement des TIC) nous permet de faire un classement des pays et de mieux se rendre compte de l'évolution des TIC à l'échelle de la planète. Cet indice est une valeur repère sur une échelle de 0 à 10, composée de onze indicateurs.

L'UIT nous présente donc dans son rapport une première observation : les TIC continuent de s'améliorer à travers le monde. En effet, la quasi-totalité des pays ont enregistré une progression de leur indice IDI entre 2011 et 2013, sachant que ce sont les pays en développement qui montrent la plus forte progression. En revanche, l'UIT met en avant la fracture numérique qui partage le monde et affirme qu'« encore 1,1 milliard de ménage n'ont toujours pas accès à internet » et que « 2,4 milliard de personnes (le tiers de la population) vivent dans les pays les moins connectés, avec un IDI très faible » et développer les TIC pour toute cette population est l'objectif de l'UIT.

Pour conclure sur cette partie, nous voulons mettre en évidence le fait que vu les chiffres d'aujourd'hui sur le coût en énergie et l'impact environnemental de la société de l'information, et vu le développement continu et intentionnel de celle-ci, il apparaît qu'un tel rythme de croissance ne pourra plus être soutenu à l'avenir. C'est là tout le sujet de notre rapport.

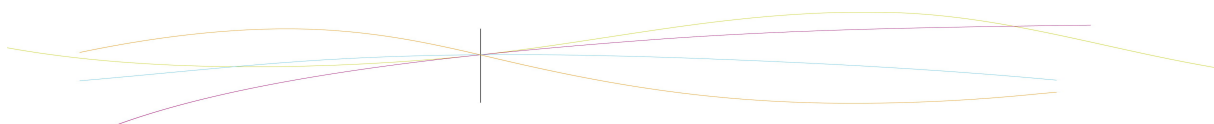
Mais prendre conscience de ce problème, en mesurant la société de l'information, que ce soit du point de vue de sa grandeur, énergétique ou environnemental, est le premier outil pour trouver des solutions afin de réduire l'impact de cette société sur l'environnement. Pour pouvoir réglementer les TIC et les data-centers il nous faut aussi un indice regroupant un maximum de données et pouvant marquer une limite à ne pas dépasser. Nous avons vu que l'IDI concernant les TIC a pour but d'évaluer et de comparer l'ensemble des TIC dans le monde (voir partie I.3) mais celui-ci ne nous donne aucune valeur limite à ne pas dépasser pour moduler l'impact environnemental des TIC. C'est pourquoi nous nous intéresserons ici plutôt au PUE (Power Usage Effectiveness) ou encore l'Indicateur d'efficacité énergétique concernant en particulier les data-centers. Puis nous estimerons le nombre de data-centers pour quelques pays et continents en se basant sur le PIB.

3) Exemple d'indicateurs de mesure

a. Power Usage Effectiveness

Dans cette partie nous nous intéresserons à l'indice le plus caractéristique des data-centers du point de vue environnemental. Le PUE ou Indicateur d'Efficacité Énergétique se définit comme suit :

$$\text{PUE} = \frac{\text{Energie totale consommée par le centre informatique}}{\text{Energie consommée par les systèmes informatiques}}$$



D'après Wikipédia, « En 2010, un accord a été signé entre les industriels du consortium GreenGrid et les autorités américaines, japonaises et européennes pour normaliser le calcul de cet indicateur et pouvoir l'utiliser comme outil officiel de référence internationale. ».

Dans l'idéal, la valeur du PUE pour un data-center devrait être égale à 1.

En effet, l'énergie serait consommée uniquement par les serveurs informatiques déployés par le centre. Grâce à cet indicateur et au mouvement en faveur de l'informatique éco-responsable (Green IT, détaillé plus loin), les centres de données ont réalisé de nets progrès. Il est vrai qu'en quelques années seulement, la valeur du PUE qui était à environ 2,5 pour énormément de data-centers descend à près de 1,2 pour les meilleurs en 2010, et a une moyenne pour l'industrie autour de 1,7. Il est donc évident qu'instaurer des indices de mesure est une première solution quant à réduire le coût énergétique de la société de l'information.

Mais l'alliance Green IT, l'AGIT dans un communiqué de presse à Paris le 9 octobre 2012, se pose la question de savoir si le PUE est un bon indicateur environnemental et par conséquent si l'amélioration observée est justifiée. En effet, si l'on compare deux data-centers uniquement sur leur PUE, on oublie des dimensions très importantes qui sont les suivantes :

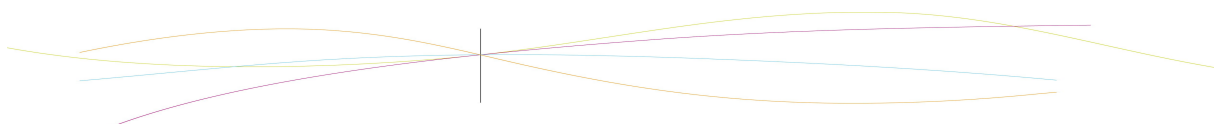
- **la localisation géographique du site** : en effet, l'indice est influencé par la température extérieure. Ainsi, pour un même centre informatique, le PUE sera plus faible en Islande qu'au Maroc.
- **le taux de disponibilité choisi** : les pertes énergétiques augmentent avec le nombre d'éléments redondants travaillant à charge partielle.
- **le taux de charge** : si un data-center ne travaille qu'à 20% de sa charge nominale, il aura un PUE plus mauvais que s'il était chargé à 80%, même en consommant moins d'énergie.

Il semble maintenant évident que pour comparer deux data-centers, il est insuffisant de n'utiliser que le PUE comme moyen de comparaison. En effet tous les aspects cités plus hauts seraient abandonnés.

De même deux sites peuvent avoir le même PUE alors que l'un a une puissance de 100 kW et l'autre de 1000 kW or l'impact environnemental sera beaucoup plus fort pour le deuxième. De plus le PUE ne mesure que l'efficacité énergétique. Il ne prend pas en compte les services rendus, ni la production effectuée.

En revanche le PUE est un bon moyen pour observer et analyser les variations et tendances en fonction de l'évolution globale d'un data-center.

Pour conclure sur cet indice nous pouvons affirmer qu'il permet de mettre en place une stratégie d'amélioration des performances énergétiques d'un data-center si l'on tient compte de toutes les spécificités de celui-ci. Cet indicateur qu'est le PUE est donc bien un facteur d'amélioration des centres de données et c'est pourquoi mesurer la société de l'information est la première solution pour gérer les impacts environnementaux de celle-ci.



b. PIB, Produit Intérieur Brut

Nous avons pensé qu'il serait intéressant d'utiliser le PIB comme un facteur proportionnel au nombre de data-centers d'un pays. Dans cette partie, nous allons donc calculer le nombre de centres de données dans un pays ou continent en partant des hypothèses suivantes :

- La France a 130 data-centers pour un PIB de 2 609 000 millions USD
- En admettant la formule suivante :

$$\text{nb de data-center du pays ou continent voulu} = \frac{\text{nb de data-center français} \times \text{PIB du pays ou continent}}{\text{PIB français}}$$

Les résultats sont à consulter dans l'ANNEXE 3.

Sachant qu'il y a 2000 data-centers dans le monde, il semble que les résultats obtenus sont justes puisqu'avec les États-Unis, l'Union Européenne, la Chine, le Japon et la Russie, on totalise 1850 centres de données et tous les autres pays n'ont pas plus de 100 data-centers et doivent à eux tous atteindre le compte final.

C'est pourquoi nous pouvons affirmer que la méthode utilisée ici est exploitable pour avoir un ordre de grandeur du nombre de data-centers dans un pays ou continent.

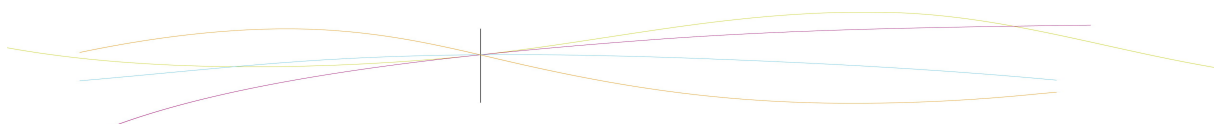
Nous pouvons donc l'utiliser comme un autre indicateur de mesure de la société de l'information afin de nous aider dans la recherche de solution pour limiter l'impact environnemental.

c. Réglementation

Maintenant que l'on sait comment mesurer la société de l'information, et que l'on a vu qu'il était indispensable de le faire pour trouver des solutions, il faut savoir quelles réglementations ont été mises en vigueur.

Dans un premier temps, ce sont les sociétés de TIC qui ont volontairement pris des initiatives et développé des solutions pour réduire leur empreinte carbone. Mais personne ne savait exactement comment ils calculaient leur consommation d'énergie. La Commission européenne a tout de même encouragé le secteur des TIC à réduire son impact environnemental en se donnant des objectifs. Pour cela, elle a publié une recommandation afin de faciliter le passage à une économie faible en carbone. « Dans ce document, elle demandait au secteur des TIC de fixer des objectifs d'efficacité avant 2011 dans le but de réduire sa consommation d'énergie de plus de 20 % à l'horizon 2015. Leurs progrès en la matière devaient être évalués tous les ans. », d'après le site EurActiv.

Mais est-ce suffisant ?



En 2013, la Commission a prévu de créer un groupe de travail qui analysera la nécessité de réglementer tout le secteur des TIC. La Commission a aussi pris l'initiative de lancer un système de certification européen, le système communautaire de management environnemental et d'audit (EMAS). La participation à ce système est totalement volontaire et permet à la société qui y participe de recevoir une éco-certification.

De plus, d'après le site de Green IT consulting, toutes les entreprises doivent théoriquement respecter les réglementations suivantes :

- **sur les DEEE** qui a pour objectif de réglementer la collecte et l'élimination des DEEE (**Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques**) au sein de l'Union européenne.
- **ROHS** ou **Restriction d'utilisation de substances dangereuses pour l'environnement** a pour but la limitation des produits dangereux contenus dans les DEEE.
- **EuP** la nouvelle version de la directive EuP (**European Energy using Product**) devrait recouvrir les directives DEEE et ROHS.

2. Green IT, sensibiliser à l'impact environnemental de cette nouvelle société et solutions pratiques

Dans cette partie du rapport nous nous intéresserons à l'informatique verte ou encore l'informatique éco-responsable. Nous commencerons par donner une définition précise et faire le tour des dernières « vagues » de Green IT puis nous listerons quelques solutions pratiques concernant toutes les populations concernées.

1) Green IT : Qu'est ce que c'est ?¹

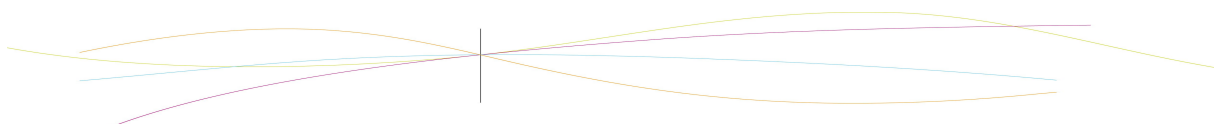
« Le green IT ou green computing, a pour objectif de réduire l'empreinte carbone générée par les Systèmes d'Information des entreprises tout en leur permettant de réaliser des économies. »

Plus précisément, le green-IT ainsi que les écotechniques de l'information et de la communication (les éco-TIC) sont des techniques de l'information et de la communication dont la conception ou l'emploi permettent de réduire les effets négatifs de l'activité humaine sur l'environnement.

De plus, le green IT se développe autour de deux grands axes :

- **Utiliser des « produits verts »** : ce sont des produits (comme des ordinateurs ou des téléphone) qui consomment peu d'énergie et que Green IT s'efforce de mettre sur le marché.
- **Virtualiser des serveurs et des postes de travail** : le but ici est de réduire le nombre de machines utilisées dans un Système d'Information.

¹ <http://www.greenit-monaco.com/le-green-it.html>
<http://www.greenitconsulting.ch/index.php/green-it/green-it1-0-1-5-2-0.html>
<http://www.greenit.fr/article/bonnes-pratiques/tic-durables-definition-5059>



Green IT est aussi à l'origine des TIC durables qui s'organisent selon trois « vagues » principales : Green IT 1.0, Green IT 1.5, Green IT 2.0.

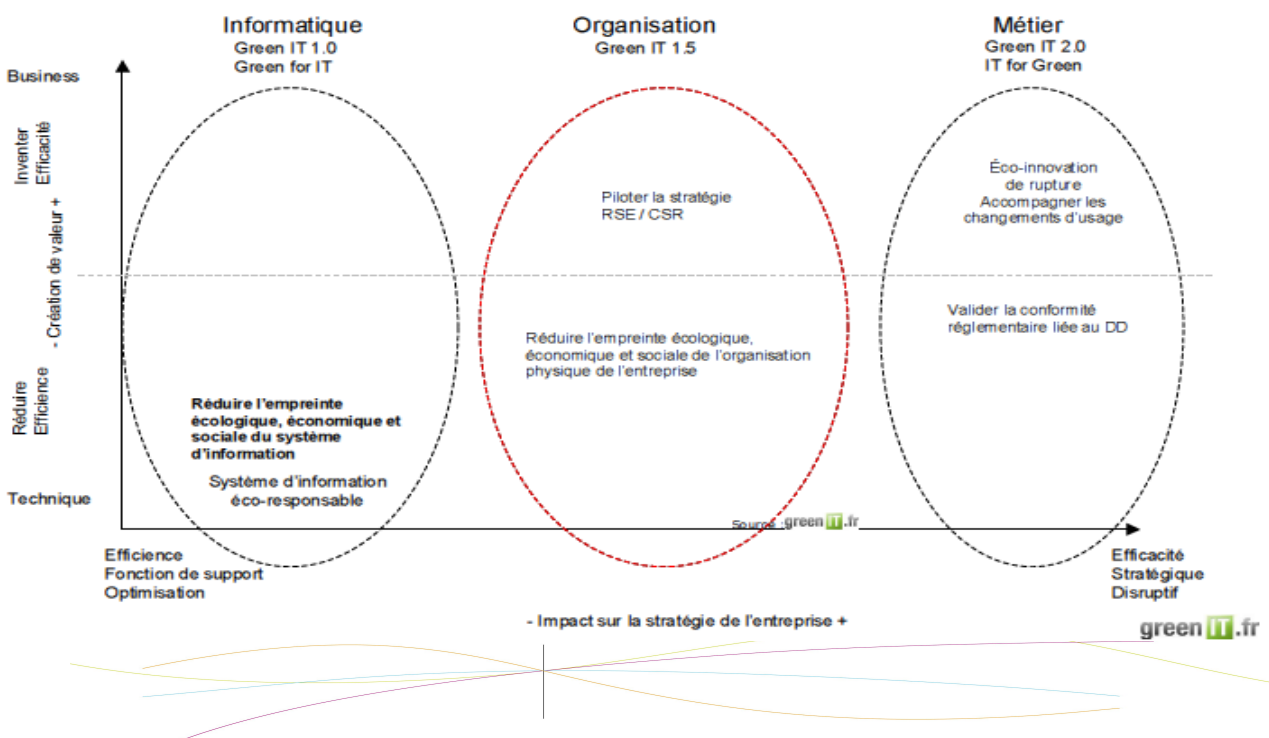
Contrairement à ce que la notation pourrait laisser penser il ne s'agit pas d'une évolution mais de trois périmètres différents ayant un impact direct sur la politique de limitation de l'impact environnemental des TIC. Il existe aussi une organisation correspondant à chaque « vague ».

Green IT 1.0 : Démarche d'amélioration continue qui vise à réduire l'empreinte écologique, économique et sociale des technologies de l'information et de la communication. Cela comprend la performance énergétique, l'impact des impressions, l'analyse du cycle de vie, les achats écoresponsables ...

Green IT 2.0 : Démarche d'amélioration continue qui vise à réduire l'empreinte écologique, économique et sociale de l'organisation (au sens physique du terme). Cela comprend la dématérialisation, la visioconférence, la mobilité, la téléphonie, etc... De plus Green IT 1.5 consiste à mettre les TIC au service de la stratégie Développement Durable de l'entreprise.

Green IT 2.0 ou IT for Green : Démarche d'amélioration continue qui vise à réduire l'empreinte économique, écologique et sociale d'un produit ou d'un service, grâce aux TIC. Par exemple, l'ajout d'une fonctionnalité d'éco-conduite dans le GPS livré avec une voiture. Cette « vague » se concentre donc sur les aspects métiers, l'activité de l'entreprise, son organisation, ses opérations.

Certaines personnes résume ainsi :



Green IT 1.0. : Je corrige

Green IT 1.5. : J'embellis

Green IT 2.0. : Je contribue

2) Les bonnes pratiques à adopter

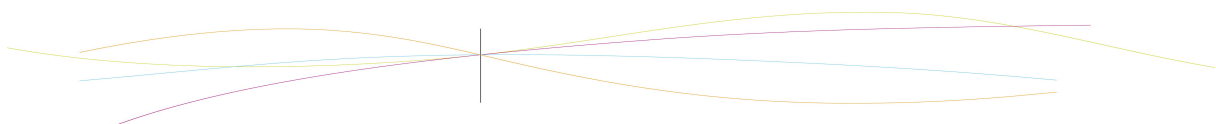
Pour une entreprise il existe plusieurs démarches de développement durables :

- Politique de recyclage des déchets informatiques.
- Campagne de communication interne sur les bons usages des matériels.
- Réduction des volumes d'impressions superflues.
- Optimisation des moyens de communication.
- Diminution du nombre de voyages des collaborateurs.
- Développement du télétravail.
- Modification des processus métiers sous contraintes environnementales.

Mais elles ne sont pas vraiment accessibles aux particuliers, et pour toutes les personnes qui utilisent les technologies de l'information ou de la communication, le green IT a donné quelques recommandations pratiques comme suit⁶ :

- Les matériels qui ne demandent pas un fonctionnement permanent sont systématiquement éteints et non mis en veille.
- Les appareils fonctionnant sur batterie sont débranchés du chargeur dès que le temps de charge est écoulé.
- Les logiciels et applications sont choisis en fonction de leur faible consommation énergétique.
- Aucun matériel ou composant électrique ou électronique n'est jeté à la poubelle.
- Les ordinateurs et matériels en fin de vie sont systématiquement recyclés.
- Sauf panne, le matériel informatique n'est pas renouvelé avant 5 ans minimum d'utilisation.
- Les disques durs sont choisis en fonction de leur faible consommation énergétique.
- Le réglage automatique de luminosité est activé sur tous les équipements qui en sont équipés
- Les impressions sont effectuées en recto verso.
- Les fichiers attachés aux mails sont compressés.
- Tous les spams sont supprimés.

⁶ <https://checklists.opquast.com/green-it>



3. Solutions pratiques pour les data-centers

1) Réduire l'impact énergétique d'un data-center : la compensation carbone

Nous pouvons prendre l'exemple du datacenter Nantes-2. Dans une démarche toujours plus respectueuse de l'environnement, le datacenter Nantes-2 met en place des mesures hebdomadaires d'efficacité énergétique.

Pour cela, ses opérateurs ont décidé de racheter l'intégralité des émissions incompressibles de leur datacenter en finançant des projets de reforestation et de développement qui leurs sont associés. Pour l'année 2009, ils ont planté 6 arbres par jour soit un total annuel de 2190 arbres. Ils ont aussi reconduit cette démarche pour les années suivantes.

2) Les axes de développement pour un data-center vert

Nous observons actuellement une émergence du concept de Green Datacenter : pour devenir plus efficient, c'est-à-dire pour réaliser plus d'opérations en consommant moins d'énergie (moins d'électricité principalement), le data-center doit être optimisé dans ses coûts et son fonctionnement.

L'objectif principal de cette démarche Green IT est l'optimisation :

- De l'infrastructure technique existante (réduction de la consommation électrique, free-cooling, plages climatiques...)
- Du contenu informatique (gestion du cycle de vie des équipements, choix des matériels...)
- De la couche logicielle (virtualisation, optimisation des applications...)

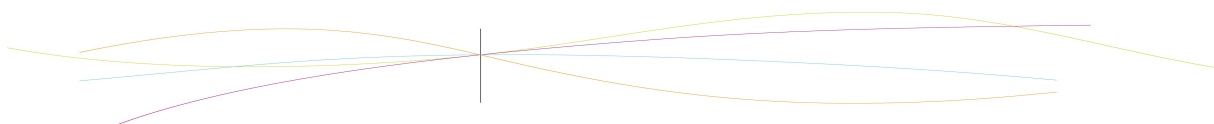
3) Free cooling

Toujours dans un souci d'efficacité et de sobriété énergétique, le concept du free cooling est mis en place dans certains data-centers. Son principe est de refroidir un bâtiment en utilisant la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur. Le free cooling permet de faire des économies d'énergie en limitant le recours aux systèmes de climatisation.

Le jour, le free cooling consiste à utiliser l'air extérieur pour rafraîchir un bâtiment, lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

La nuit, le free cooling consiste à évacuer la chaleur emmagasinée dans un bâtiment pendant la journée, afin que sa température soit la moins élevée possible le lendemain. La chaleur stockée dans les murs et le plancher du bâtiment peut par exemple être évacuée grâce à un système de ventilation performant, afin de limiter les besoins de refroidissement pendant la journée.

Il existe plusieurs moyens, manuels et automatiques, de mettre en œuvre le free cooling :



- des fenêtres ou des volets qui s’ouvrent automatiquement, en fonction de la différence de température entre l’intérieur et l’extérieur.
- des grilles sur les fenêtres et les portes intérieures du bâtiment. Ces grilles doivent être ouvertes la nuit afin de renouveler l’air par courant d’air.
- des systèmes mécaniques : des ventilateurs ou des pompes qui consomment peu (pour conserver un bon rendement énergétique) permettent de rafraîchir un bâtiment, grâce à de l’air frais ou de l’eau très froide. En effet, l’air extérieur n’est pas la seule source disponible pour le free cooling : on peut également utiliser de l’eau très froide (eau profonde des lacs, eau souterraine, ruisseau de montagne) pour rafraîchir un bâtiment, grâce à un circuit alimenté par une pompe.

Une condition importante au free cooling est que la différence de température entre l’air extérieur et l’air intérieur doit être suffisamment importante, au minimum 4 degrés. Ce système est donc particulièrement intéressant pour les data-centers, qui sont des bâtiments qui chauffent en raison de leur activité, puisque la différence de température entre l’intérieur de ces bâtiments et l’extérieur est souvent significative.

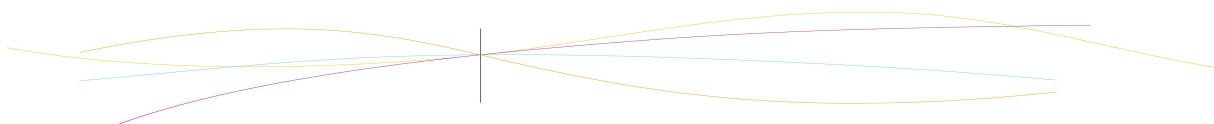
Dans l’idée du free cooling : EcoAisle³

Les systèmes de confinement d'air chaud et froid sont conçus pour optimiser la prévisibilité, la capacité et l'efficacité du refroidissement au niveau du rack (armoire électronique), de la rangée ou de la salle.



Illustration 13: EcoAisle

³ <http://mep.hr/resources/services/2/EcoAisle.pdf>



La fonction de contrôle de débit actif (AFC) du système EcoAisle fournit des informations au système de refroidissement afin d'obtenir le débit d'air de refroidissement adapté à la charge de l'équipement informatique. La consommation du ventilateur est ainsi réduite par rapport aux systèmes de refroidissement traditionnels. Le système EcoAisle peut s'adapter à différentes hauteurs d'armoires électroniques, largeurs d'ailes et profondeurs d'armoires, et ainsi prendre en charge le confinement des allées chaudes ou froides. Le système de retour d'air d'EcoAisle fournit un chemin de retour de l'air chaud centralisé pour les unités de climatisation de salle informatique ou les systèmes de gestion de l'air extérieur.

4) Récupération de la chaleur pour les habitations

Une nouvelle étape technologique est en train d'être franchie, elle consiste à récupérer l'énergie issue des data-centers pour chauffer les habitations.

Habituellement perdue, la chaleur dégagée par les systèmes de refroidissement et évacuée sous forme d'un air chaud peut être récupérée par des échangeurs thermiques. Ainsi, en sortie d'échangeurs, une eau à 55 °C peut cheminer dans les canalisations du réseau du parc d'activités et assurer la production de chauffage et d'eau chaude.

Exemple d'usage déjà établi : Academica à Helsinki

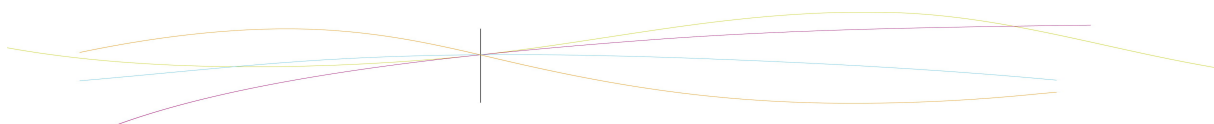
En Finlande, la cathédrale Uspenski (un célèbre monument d'Helsinki) accueille le data center de l'opérateur de télécommunications Academica. Le lieu sera ainsi transformé en immense chaufferie.

Un abri creusé pendant la dernière guerre a été réaménagé pour accueillir le data center. La chaleur dégagée par celui-ci va être récupérée et revendue pour alimenter le circuit d'eau chaude de la ville. "Cela permettra de chauffer 1.000 appartements de 90 m²", affirme Pietari Päivänen, directeur commercial et marketing d'Academica.

4. Etudes de cas à l'international

1) Data-center de Thor en Islande

Implanté stratégiquement en Islande, à mi-chemin entre l'Europe et l'Amérique du Nord, le Thor Data-Center est un centre de services d'hébergement et de stockage en nuage situé à proximité de la capitale islandaise, Reykjavik. Les particularités de ce data-center sont une alimentation hydroélectrique et géothermique renouvelable mais également l'appel à une technologie de refroidissement naturel innovante et brevetée.



Cette technologie, développée par la société AST Modular basée en Espagne, permet au Data Center de Thor de fonctionner avec un ratio d'efficacité énergétique PUE (power usage effectiveness) de seulement 1,07 – l'un des plus faibles jamais enregistrés.

Réputée pour garantir un refroidissement modulable à la fois naturel et gratuit, cette technologie brevetée est basée sur le principe du free-cooling : elle utilise l'air extérieur naturellement frais du climat islandais pour maintenir un niveau de température de fonctionnement et d'humidité approprié à l'intérieur des conteneurs de stockage de données.

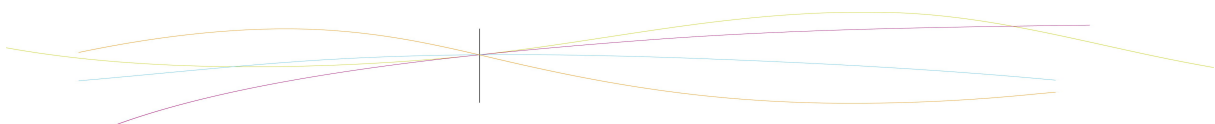
Ce mode de fonctionnement, associé au fait que l'électricité qui alimente le centre provient de sources d'énergie géothermique ou hydroélectrique renouvelables, permet au Thor Data-Center d'offrir à ses clients un environnement de stockage de données écologique caractérisé par une empreinte carbone quasi-nulle, tout en bénéficiant pour lui-même du système de refroidissement d'AST Modular « naturel et gratuit » à ultra haut rendement énergétique.

2) Facebook en Suède

Le réseau social Facebook a ouvert les portes de son premier datacenter en dehors des Etats-Unis, à Lulea, une ville côtière de la Suède, proche du cercle arctique et de la mer Baltique, pour exploiter ses énergies renouvelables. La ville accueille le 3^{ème} data-center mondial de Facebook.

C'est une première pour le réseau social qui, jusqu'ici, ne disposait de telles installations qu'aux États-Unis, en Caroline du Nord et dans l'Oregon. Le chantier a été lancé en 2011 et le centre a ouvert ses portes en juin 2013.

Le site suédois, d'une surface de 30 000 mètres carrés, utilise 100% de l'énergie renouvelable du bord du cercle polaire arctique.



Le but d'un tel site est d'optimiser la fluidité ainsi que la capacité de traitement des données des utilisateurs de Facebook (environ 1,1 milliard) et notamment de ceux du continent européen. Grâce à ce nouveau centre, Facebook pourra stocker 350 millions de photos par jour et valider la fonction "j'aime" jusqu'à 4,5 milliards de fois quotidiennement.

a. La ville de Lulea

Lulea est une petite ville côtière suédoise à 900 kilomètres au nord de Stockholm. La rivière Luleälven, qui permet le transport maritime à travers le pays, fournit 9% de l'électricité suédoise. Le centre a été installé sur une péninsule à l'endroit où se rejoignent la baie de Lulea et le Golfe de Botnie

b. Energie hydroélectrique locale

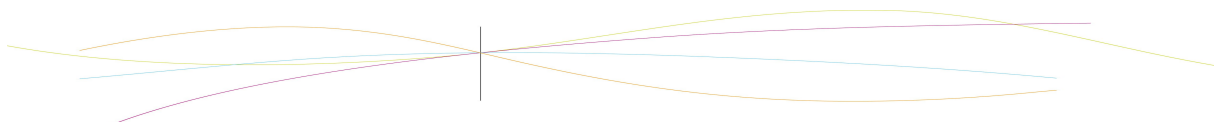
Jusqu'à présent, un grand nombre de centres de données de Facebook aux Etats-Unis ont été critiqués par les écologistes pour ne pas utiliser les énergies renouvelables. Le nouveau centre pourrait permettre de rectifier le tir.

Le site de Lulea gère le trafic des données issues du monde entier, avec des serveurs et autres équipements alimentés localement par de l'énergie produite de façon hydro-électrique. L'utilisation exclusive d'énergie hydroélectrique est possible grâce à l'existence de nombreux barrages de la région.

À terme, le data-center suédois de Facebook demandera tout de même près de 120 mégawatts pour fonctionner, soit la consommation moyenne d'une petite ville de 16 000 habitations environ.

En plus d'une alimentation des équipements 100% renouvelable, la fiabilité de la fourniture a permis de réduire le nombre de générateurs de secours nécessaires de 70%.

Les serveurs quant à eux géreront l'ensemble des activités du leader des réseaux sociaux (demande d'amitiés, tag, les mises à jour, etc.) et sont censés améliorer les conditions de navigation de l'ensemble des utilisateurs, et en particulier des Européens.



Le président de la chambre de commerce de Suède explique, dans une interview d'avril 2014, que sans les énergies renouvelables, le premier data center européen du géant américain qui s'installe à Lulea au nord du pays serait un gouffre énergétique. En effet, il déclare que, sans l'utilisation du système hydroélectrique, le data center de Facebook consommerait 1% de la totalité de l'énergie de la Suède.

c. Climat très favorable

En plus d'exploiter la puissance de l'eau, le centre de Lulea utilise l'air froid nordique pour refroidir les milliers de serveurs.

Le choix de Lulea n'est pas le fruit du hasard. En effet, le climat polaire de cette région (température moyenne annuelle de 2°C) permet d'alimenter un système de refroidissement naturel grâce à l'air extérieur (concept du free cooling).

Le climat, particulièrement froid, permet de limiter considérablement les coûts de climatisation et d'électricité dûs aux 10 000 serveurs qui y seront installés. Un choix qui n'est pas sans rappeler celui qu'a fait Google pour son data-center finlandais.

Concrètement, les températures dépassent rarement les seuils à partir desquels il faut climatiser.

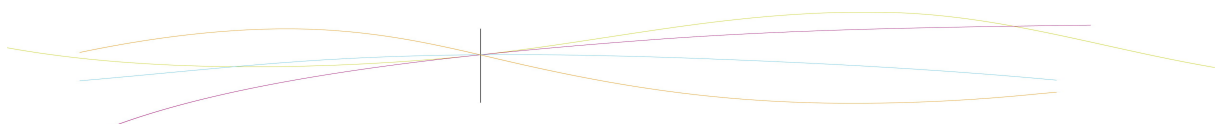
Du coup, même Greenpeace voit d'un bon œil l'emplacement. "L'une des raisons essentielles de choisir Lulea, c'était l'accès à une énergie renouvelable. Qu'une des plus grandes entreprises technologiques mondiales fasse ce choix envoie un signal positif", affirme une responsable de l'ONG.



d. Optimisation maximale

Tout excès de chaleur est exploité et utilisé pour chauffer les bureaux du personnel. Les serveurs ont été conçus selon la conception Open Compute, du nom du projet porté par Facebook, qui optimise le design des serveurs pour la maintenance et l'efficacité énergétique.

Le réseau social a précisé que ce centre de calcul disposerait d'un taux d'efficacité énergétique moyen de 1,07.



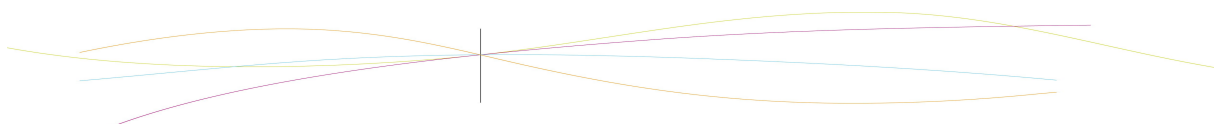
CONCLUSION

Dans la première partie, nous avons vu que les data-centers au nombre de 2000 dans le monde, étaient devenus des lieux stratégiques pour une entreprise dans la société actuelle. En effet, une entreprise peut aujourd'hui stocker un nombre impressionnant d'informations grâce à un espace de stockage considérable, offert par le data-center. Nous avons également pu constater que les TIC faisaient aujourd'hui partie intégrante de notre société : la société de l'information. Que ce soit dans le domaine économique, social, politique ou culturel, ces moyens de communications ont permis des évolutions (gains de productivité, ouverture sur le monde, progrès médical, etc).

Or, le véritable problème auquel se confronte aujourd'hui le monde est la pollution induite par cette société de l'information. En effet, les impacts environnementaux de la société de l'information sont le sujet auquel nous avons fait face pendant ce projet. Dans la deuxième partie, nous avons remarqué que les TIC polluaient à tous leurs stades de vie : de la conception à leur transformation en e-déchets. Par exemple, la fabrication d'ordinateurs engendre la libération de gaz à effet de serre par le fonctionnement de machines d'extraction ou encore l'épuisement de ressources non renouvelables dont les métaux précieux. Les data-centers, eux, polluent également à leur façon : ils consomment énormément d'énergie et émettent beaucoup de chaleur. L'utilisation par exemple de systèmes de refroidissement est donc incontournable mais sont nocifs pour l'environnement.

Pour pallier à ces impacts environnementaux considérables, des solutions sont en voie de développement et d'installation pour réduire l'empreinte écologique de la société de l'information. Mais pour réglementer la pollution des TIC et des data-centers, il faut tout d'abord mesurer cette société de l'information. Le PUE est l'un des indicateurs les plus utilisés et connus, sa valeur idéale serait égale à 1. De nombreuses techniques de l'information, dont le concept est de réduire les effets néfastes de l'activité humaine sur l'environnement, ont été mises en place, la plus connue est le Green IT. Son but est d'utiliser des « produits verts » et de réduire le nombre de machines. Dans la troisième partie, nous avons également mis en évidence les solutions environnementales pour un data-center comme la compensation carbone ou le free-cooling, dont le principe est de refroidir un bâtiment en utilisant la différence de température entre l'air extérieur et intérieur. Une autre solution en cours de développement est la récupération de la chaleur émise par les data-centers pour chauffer une ville.

Toutes ces solutions sont au cœur des préoccupations actuelles et sont en voie de développement, toujours dans un souci de respect de l'environnement, associé à des enjeux d'évolution, de rentabilité et d'économies.



AVIS PERSONNEL SUR LE PROJET

Pauline:

J'ai tout d'abord choisi ce sujet de projet car je me suis toujours intéressée à l'épuisement des ressources naturelles et ainsi aux solutions pour préserver l'environnement. De plus, ce sujet traite de cet aspect dans un champ précis : la société de l'information, qui est un domaine très intéressant puisque aujourd'hui les TIC et les data-centers sont des systèmes incontournables du monde actuel. Du coup, ce projet était pour moi très attractif puisque le respect de l'environnement est un problème actuel et le placer dans le domaine de la société de l'information le rend urgent puisque nous ne pouvons pas nous passer des TIC.

Pendant le déroulement du projet, j'ai été surprise par l'ampleur que prenaient les TIC dans notre société actuelle. J'ai également beaucoup appris sur le concept de data-center sur lequel j'avais peu de connaissances. Par rapport à l'étude de cas de Facebook en France, j'ai trouvé très intéressant de découvrir que des entreprises internationales telles que Facebook cherchaient à trouver des solutions pour réduire leurs impacts environnementaux.

En conclusion, après réalisation de ce projet, j'ai pris conscience de l'impact environnemental de la société de l'information et j'ai pris connaissance de concepts ayant pour but une informatique verte tels que Green IT.

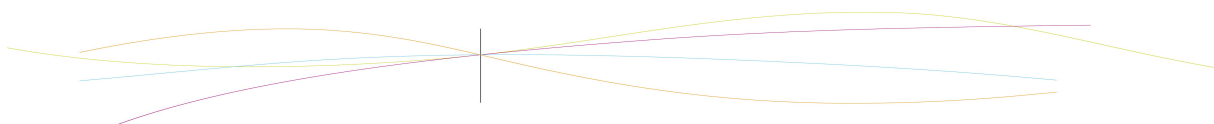
Elise:

Personnellement, j'ai trouvé le sujet très intéressant et correspondant tout à fait à l'idée que j'en avais. Nous avons fait l'effort d'intégrer plus d'éléments physiques à proprement parler (afin d'éviter de ne faire que des recherches bibliographiques), comme toutes nos données acquises sur le CRIHAN lors de notre visite ainsi que les photos de caméra thermique, mais j'aurais aimé qu'on puisse trouver d'autres éléments.

En revanche j'ai été très étonnée par les chiffres trouvés particulièrement en ce qui concerne la consommation électrique du ordinateur du CRIHAN (qui a été multipliée par un facteur 150 en l'espace de seulement 8 ans) et l'empreinte carbone d'un simple mail. La partie III dont j'ai fait deux sous-parties m'a aussi très intéressée car j'ignorais totalement l'existence d'organisation comme Green-IT ainsi que toutes les solutions abordées dans ce rapport qui ouvre en grands les portes de l'informatique verte. Je pense que nous avons eu un bon travail de groupe, notamment au niveau du planning, et que tout notre investissement dans la réalisation de ce rapport sera apprécié.

Loïc:

Personnellement, au début j'étais un peu dubitatif sur le sujet. Mais les nouvelles technologies, notamment celles de la société de l'information sont un domaine qui m'intéresse. J'ai donc décidé d'en apprendre plus sur l'impact environnemental de ces technologies à travers l'étude des conséquences environnementales de la société de l'information. Lors de ce projet, j'ai beaucoup

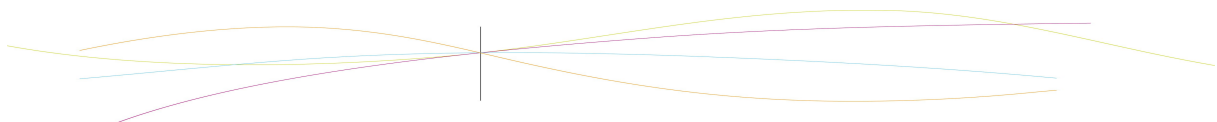


appris, tout d'abord sur la société de l'information en général, pour donner un exemple je n'avais qu'une très vague idée de ce qu'était un data-center. Ensuite, j'ai pu me rendre compte des enjeux environnementaux de cette société : pollutions, consommation d'énergie, etc. De plus, j'ai pu voir que même si cette société est très nocive pour l'environnement, des solutions existent. Finalement travailler sur ce sujet fut un plaisir.

Emilie:

Pour ma part, j'ai tout de suite été très intéressée par ce sujet. Je suis donc très heureuse d'y avoir participé avec la réalisation de ce rapport. Assurément, je trouve que l'on a fourni un travail assidu tout au long du projet et qui plus est, je trouve également que l'on formait une bonne équipe. En plus d'avoir pris contact avec le data-center régional CRIHAN pour étayer notre projet, j'ai effectué beaucoup de recherches et j'y ai consacré beaucoup de mon temps.

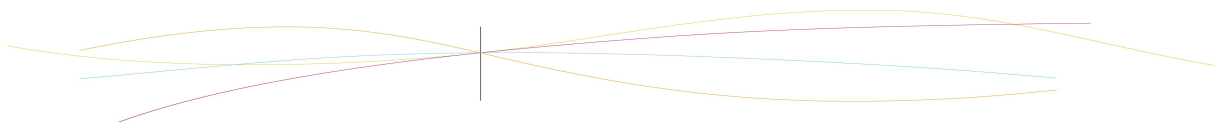
Nonobstant le fait qu'on ait pu répondre à la problématique, ce sujet m'a permis de réaliser quels étaient réellement les impacts causés par la société de l'information sur notre environnement. Je suis certaine que peu de gens en sont conscient mais force est de constater que les faits sont tout bonnement alarmants. Dans tous les cas, je suis contente de ne plus faire partie de cette catégorie de personnes et donc de livrer une réponse sur le sujet à quiconque se posant la question.



ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

- 1) ANNEXE 1: Informations sur Crihan
- 2) ANNEXE 2: Les métaux dans les TIC
<http://jouyautregauche.com/impacts-ecologiques-des-tic/>
- 3) ANNEXE 3: Tableau du nombre de data-centers selon le PIB
- 4) ANNEXE 4: Photographie caméra thermique



ANNEXE 1

1) Concernant les contrôles par des autorités extérieures, Mari-Sophie Cabot nous a confirmé qu'il n'y a pas de réglementations spécifiques pour les centres de données, ce sont les mêmes que pour les autres activités. Le CRIHAN est donc soumis aux obligations de contrôles réglementaires pour ses installations:

- installations électriques => vérification annuelle (sécurité)
- installations frigorifiques => vérification annuelle (risque de rejet de gaz à effet de serre)
- installations de production de chaleur (chaudière) => entretien et vérification annuelle (performance, risque de dégagement de CO)

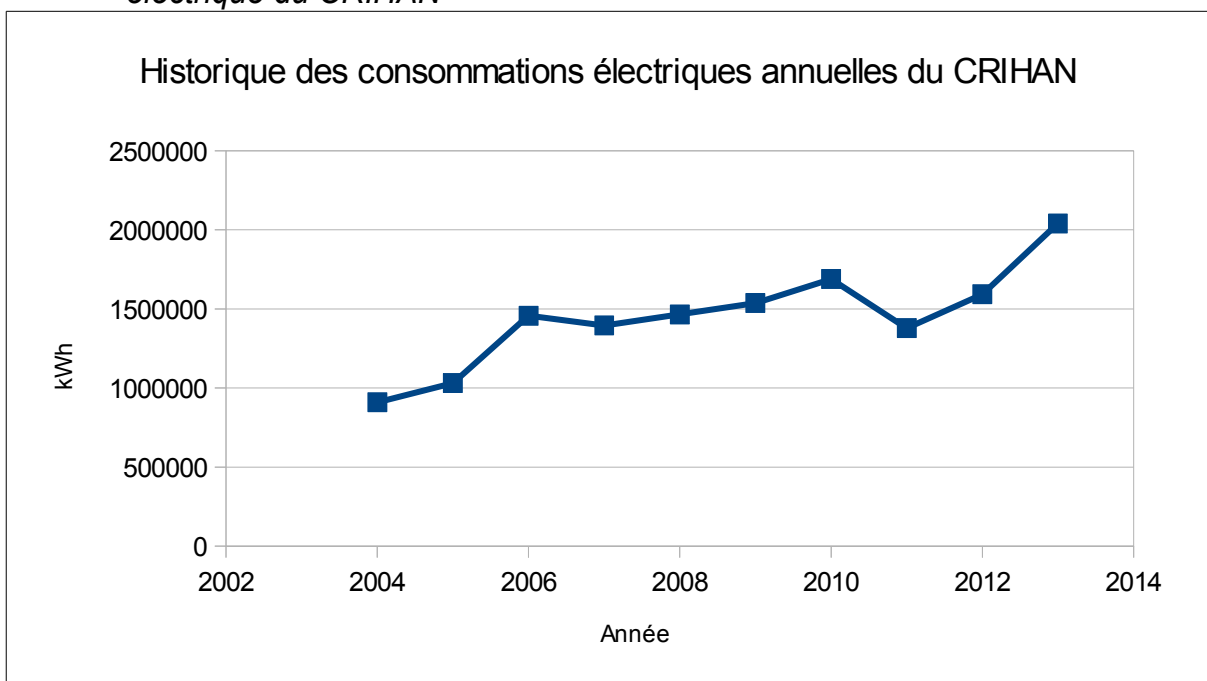
2) La consommation totale a donc été multipliée par un facteur de l'ordre de 2 en 10 ans. C'est l'évolution de la puissance du calculateur, qui représente la principale source de consommation. La puissance de calcul a donc été multipliée par un facteur de l'ordre de 150 sur la même période.

Année	kWh
2004	910197
2005	1031330
2006	1456795
2007	1395343
2008	1465562
2009	1537278
2010	1689262
2011	1379244
2012	1593000
2013	2040623

*Tableau 1:
Consommation totale
électrique du CRIHAN*

Année	Tflops
2004	0,33
2005	1,5
2007	1,7
2011	14
2012	50

*Tableau 2:
Consommation
électrique du
calculateur du CRIHAN*



ANNEXE 2

Impacts écologiques des Technologies de l'Information et de la Communication

Tableau 1.1 Situation des métaux dans les TIC.

Métal	Description	Utilisation dans les TIC % de la production mondiale	Réserves	Recyclage	Substitution	1 ^{er} pays producteur % PDM	Accès jugé critique
Aluminium	Électronique, CD, refroidissement CPU et transistors	N/D	Plusieurs dizaines d'années ¹	> 50 % ³	Nombreux éléments ⁴	Chine ⁴ 40 %	Oui, 2 ^e liste ²
Argent	Conducteurs, interrupteurs, contacts	21 % ¹	15-30 ans ¹	> 50 % ³	Faible ¹	Pérou ⁴ 18 %	Oui, 3 ^e liste ²
Cuivre	Câbles, fils, connecteurs, transformateurs	42 % ¹⁰	40 ans ²	> 50 % ³	Faible ¹	Chili ⁴ 34 %	Oui, 3 ^e liste ²
Étain	Alliages de soudures	44 % ¹	40 ans ⁴	> 50 % ³	Faible ¹	Chine ⁴ 44 %	Non
Indium	Écrans LCD (ITO), semi-conducteurs, soudure sans plomb	> 50 % ⁵	10-15 ans ¹	< 1 % ³	Graphène, matériaux organiques ¹	Chine ⁴ 52 %	Oui, 1 ^{re} liste ²
Gallium	Leds d'affichage, télécommandes infrarouges, lecture/gravure CD, DVD, Blu-ray, disques durs	48 % ⁷	10-15 ans ¹	< 1 % ³	Faible ¹	Chine ⁴ (N/D)	Oui, 1 ^{re} liste ²
Germanium	Wifi	15 % ⁹	10-15 ans ¹	< 1 % ³	Si ⁴	Chine ⁴ 67 %	Oui, 1 ^{re} liste ²
Lithium	Batteries	20 % ¹	Grandes ¹	< 1 % ³	Ni, Zn, Cd, Pb ¹	Chili ⁴ 35 %	Oui, 3 ^e liste ²
Nickel	Batteries Ni-MH	< 5 % ¹	35 ans ¹	> 50 % ³	Faible ²	Russie ⁴ 17 %	Oui, 2 ^e liste ²
Or	Contacts (microprocesseurs)	9 % ¹	14 ans ¹²	> 50 % ³	Pd, Pt, Ar ¹	Australie ⁴ 14 %	Non
Platine	Disques durs, fibre optique	6 % ¹	Grandes ¹	60-70 % ³	Autres MGP ¹	Afr. Sud ⁴ 75 %	Oui, 1 ^{re} liste ²
Palladium	Condensateurs	17 % ¹	Grandes ¹	60-70 % ³	Autres MGP ⁴	Russie ⁴ 44 %	Oui, 1 ^{re} liste ²
Silicium	Puces électroniques	4 % ⁶	Grandes ¹	Insignifiant ⁴	GaAs, Ge ⁴	Chine ⁴ 67 %	Oui, 3 ^e liste ²
Tantale	Condensateurs, écrans à cristaux liquides	66 % ¹	> 150 ans ⁴	< 1 % ³	Al, céramique ¹¹	Brésil ⁴ 27 %	Oui, 1 ^{re} liste ²
Terres rares	Aimants des disques durs, écrans LCD	18 % ⁸	Grandes ¹	< 1 % ³	Oui mais moins efficace ⁴	Chine ⁴ 97 %	Oui, 1 ^{re} liste ²

Sources des données contenues dans le tableau :

[1] Bihoux, 2010 – [2] European Commission, 2010a – [3] UNEP, 2011b – [4] U.S. Geological Survey, 2009

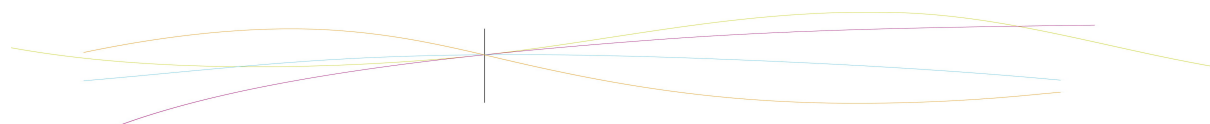
[5] Geology.com, 2011a – [6] Weis, 2003 – [7] Minor metals trade association

[8] Geology.com, 2011b – [9] Wikipédia.fr, données de 2007 (site accédé le 25/10/2011)

[10] London Metal Exchange, 2007 – [11] Mineral Information Institute – [12] BRGM, 2007

ANNEXE 3

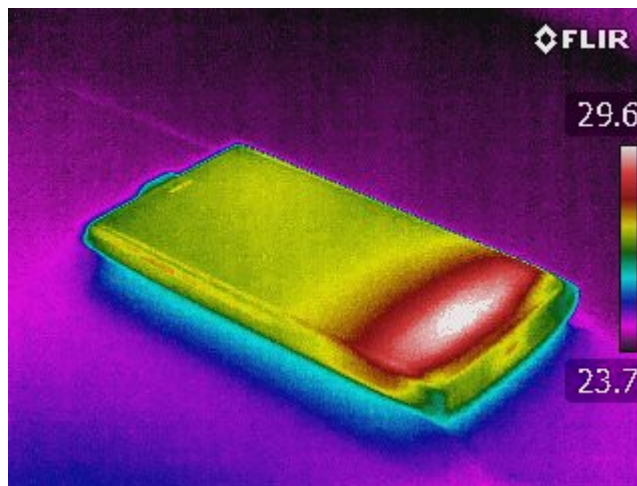
Pays ou Continent	PIB en millions de dollars américains	Nombre de data-centers
Union européenne	16360000	627
États-Unis	15680000	601
Chine	8227000	315
Japon	5964000	229
Allemagne	3401000	130
Royaume-Uni	2441000	94
Brésil	2396000	92
Russie	2053000	79
Italie	2014000	77
Inde	1825000	70
Canada	1819000	70
Australie	1542000	59
Espagne	1352000	52
Mexique	1177000	45
Corée du Sud	1156000	44
Indonésie	894900	34
Turquie	794500	30
Pays-Bas	773100	30
Arabie saoudite	727300	28
Suisse	632400	24
Iran	548900	21
Suède	526200	20
Norvège	501100	19
Pologne	487700	19
Belgique	484700	19
Argentine	475000	18
Autriche	398600	15
Afrique du Sud	384300	15
Émirats arabes unis	358900	14
Danemark	313600	12
Singapour	276500	11
Algérie	274500	11
Nigeria	268700	10
Chili	268200	10
Égypte	256700	10
Finlande	250100	10
Grèce	249200	10
Pakistan	231900	9



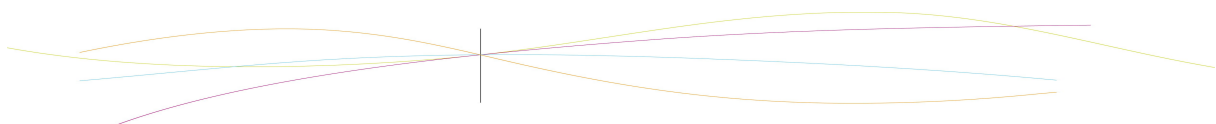
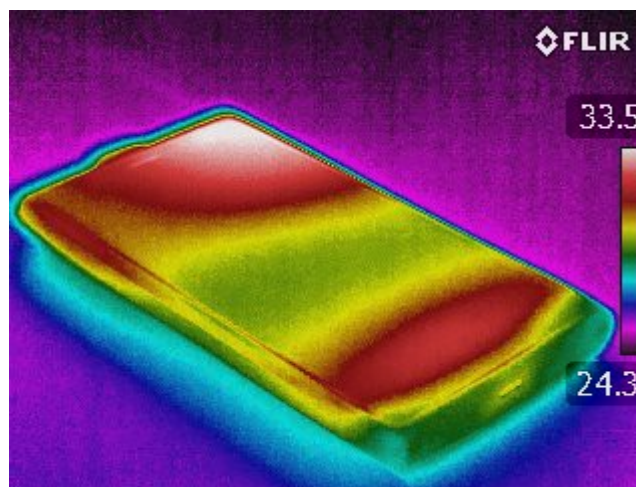
ANNEXE 4

Grâce à l'aide de Nicolas Malomki, nous avons pu obtenir deux photos prises par une caméra thermique. La zone blanche est la plus chaude de la photographie s'en suit la zone rouge. D'après les photos, il est clair que lorsqu'on allume une vidéo sur le smartphone la chaleur augmente considérablement. Ceci montre bien que les TIC consomment beaucoup d'énergie et relâche énormément de chaleur dans l'atmosphère. Ces photos montrent de manière expérimentale que les TIC sont dangereux pour l'environnement. En effet ceux-ci chauffent énormément et donc consomment beaucoup d'électricité, ce qui implique que les centrales qui produisant cette électricité polluent plus.

AVANT D'ALLUMER LA VIDEO



APRES AVOIR ALLUME LA VIDEO



BIBLIOGRAPHIE

– **Encyclopédie en ligne**

WIKIPEDIA. *Effets macroscopiques de la société de l'information.*

http://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9%C3%A9_de_l'information#Effets_macroscopiques_de_la_soci.C3.A9t.C3.A9_de_l.27information

– **Encyclopédie en ligne**

WIKIPEDIA. *Déchets d'équipements électriques et électroniques.*

http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9chets_d'%C3%A9quipements_%C3%A9lectriques_et_%C3%A9lectroniques#Paradoxe

– **Site collectif**

ECOINFO. *Épuisement des ressources naturelles/ Les matériaux impliqués dans les TIC*

<http://ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?article129>
<http://ecoinfo.cnrs.fr/article323.html>

– **Site officiel**

IISD. *Les TIC et l'environnement.*

http://www.iisd.org/infosoc/icts/default_fr.asp

– **Site officiel**

ADEME. *Management environnemental et éco-produits.*

<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=13201>

– **Site collectif**

GREENIT. *Energie grise et informatique verte.*

<http://www.greenit.fr/article/energie/energie-grise-et-informatique-verte>

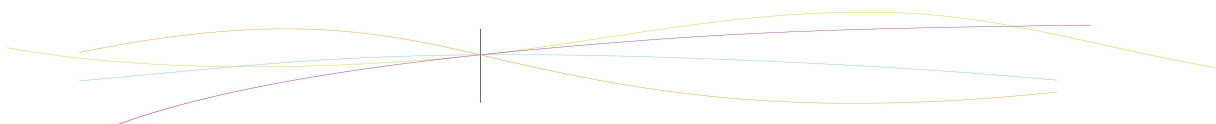
– **Site officiel**

AREHN. *Tic tac : c'est l'heure des comptes pour les Technologies de l'Information et de la Communication.* <http://www.arehn.asso.fr/dossiers/tic/index.html>

– **Site collectif**

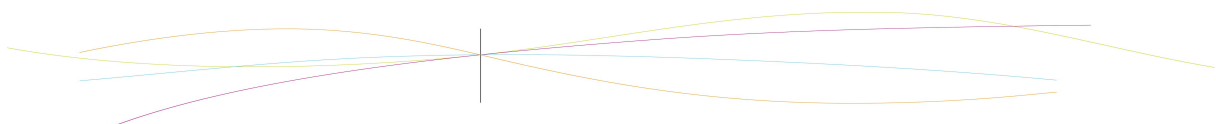
OBSOLESCENCE-PROGRAMMÉE.FR. <http://obsolescence-programmee.fr/>

– **BIG BROWSER.** *ÉNERGIVORE – Un iPhone consomme plus d'électricité qu'un réfrigérateur. Le Monde. 19 août 2013.*

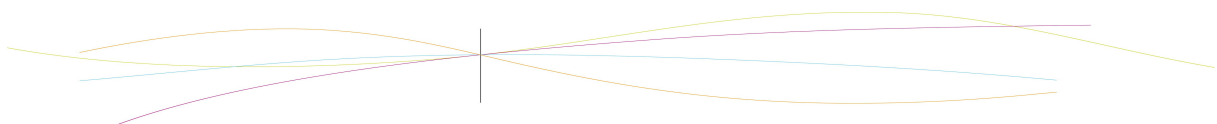


<http://bigbrowser.blog.lemonde.fr/2013/08/19/energivore-un-iphone-consomme-plus-deelectricite-quun-refrigerateur/>

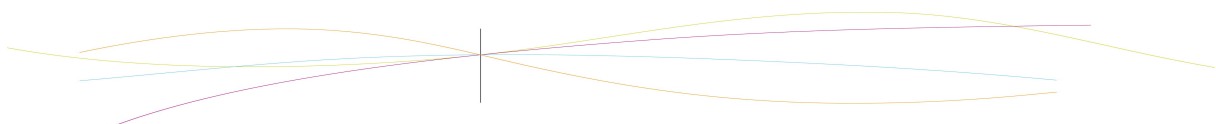
- **GOSSART Cédric**. Les TIC à l'épreuve du développement durable. 2011.
<http://gossart.wp.mines-telecom.fr/files/2011/12/Information-Technology-and-Sustainability.pdf>
<http://gossart.wp.mines-telecom.fr/files/2011/12/TIC-et-d%C3%A9veloppement-durable-Les-conditions-du-succ%C3%A8s.pdf>
- **CGEDD**. TIC et Développement durable. 2008.
http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/005815-02_rapport_cle2aabb4.pdf
- **RODHAIN Florence, FALLERY Bernard**. Après la prise de conscience écologique, les T.I.C. en quête de responsabilité sociale. 2010.
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/82/14/50/PDF/2010_AIM_TIC-ecolo_RodFal_.pdf
- **MILLS Mark P.** The Cloud Begins With Coal. 2013
http://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac
- **CEC/EVZ**. l'obsolescence programmée ou les dérives de la société de consommation. 2007.
http://www.europe-consommateurs.eu/fileadmin/user_upload/eu-consommateurs/PDFs/publications/etudes_et_rapports/Etude-Obsolescence-Web.pdf
- **ADEME**. étude sur la durée de vie des équipements électriques et électroniques. 2012
<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoccid=96&m=3&id=84636&p1=30&ref=12441>
- Article de **Sally BURCH**, Journaliste indépendante d'origine britannique
<http://vecam.org/article516.html>
- Extrait du rapport : La société de l'information au XXI^{ème} siècle de **Joël de ROSNAY**
<http://www.ifri.org/downloads/derosnay00.pdf>
- Site **EVADEO**, rubrique Ecologie et Environnement
<http://www.evadeo.org/industrielle-environnement-a02936788.htm>
- Encyclopédie numérique **WIKIPÉDIA**
http://fr.wikipedia.org/wiki/TIC_et_d%C3%A9veloppement_durable
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Environnement>
- Rapport de l'**UIT** (l'Union Internationale des Télécommunications) : Mesurer la société de l'information
https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2013/MIS2013-exec-sum_F.pdf



- Article de *Le Monde.fr* sur les data-centers :
 - par **Audrey GARRIC**: http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/07/01/les-centres-de-donnees-informatiques-gros-consommateurs-d-energie_3439768_3244.html
 - par **Anna VILLECHENON**: http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/07/07/les-data-centers-de-vraies-usines-electriques_1546181_3244.html
- Article de *Libération* sur les data-centers
 - par **Morgane TUAL** : http://www.liberation.fr/economie/2013/04/14/data-centers-la-donnee-ecolo_896098
- Article du site de l'*ADEME* (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) par **Angela BOLIS** : <http://www.actuenvironnement.com/ae/news/technologies-information-communication-tic-energie-emissions-ressources-12985.php4>
- Informations du site *Connaissance Des Energies* :
<http://www.connaissancedesenergies.org/an-overview-of-the-electricity-used-by-the-global-digital-ecosystem>
- Article de *Clubic.com* par **Matthieu DAILLY** :
<http://www.clubic.com/actualite-264150-france-tic-representent-13-consommation-electrique-annuelle.html>
- Encyclopédie numérique *Wikipédia*
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Indicateur_d%27efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_pays_par_PIB_nominal
- Communiqué de presse de l'alliance Green IT, l'**AGIT**
<http://www.alliancegreenit.org/images/CP/le%20pue%20est-il%20un%20bon%20indicateur%20environnemental.pdf>
- Article de *l'EurActiv.fr*, rubriques Société de l'information et Développement durable
<http://www.euractiv.fr/societe-information/comment-rendre-les-tic-plus-ecol-links dossier-514981>
- Site de *Green-it Consulting* (dans l'ensemble)
<http://www.greenit-monaco.com/le-green-it.html>
<http://www.greenitconsulting.ch/index.php/green-it/green-it1-0-1-5-2-0.html>
- Article de *Green-IT.fr* par **Frédéric BORDAGE**
<http://www.greenit.fr/article/bonnes-pratiques/tic-durables-definition-5059>

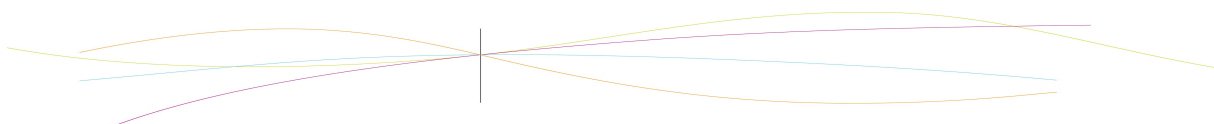


- Site d'*Opquast Checklists* sur les bonnes pratiques recommandées par Green-IT
<https://checklists.opquast.com/green-it>
- Rendu public des résultats de la 11^e enquête annuelle sur « la diffusion des TIC en France », réalisée par le CREDOC en juin 2013
<http://www.observatoire-du-numerique.fr/arcep-diffusion-des-tic-dans-la-societe>
- Article du journal *Le Monde*, « 2,3 milliards d'internautes dans le monde », publié en 2012
http://www.lemonde.fr/technologies/article/2012/10/11/2-3-milliards-d-internautes-dans-le-monde_1774055_651865.html
- Article « Cloud computing : des choix énergétiques déterminants pour l'avenir » publié en 2012
<http://unblogsurlaterre.com/actualites-environnement-sur-la-terre/cloud-computing-des-choix-energetiques-determinants-pour-lavenir-010/>
- Site de Datacenter-Nantes : Démarche Eco-responsable
http://www.nc-datacenter.com/demarche_ecologique/actions_concretes.html
- Définition du Free-cooling
<https://www.lenergieenquestions.fr/quest-ce-que-le-free-cooling/>
- Confinement thermique
<http://mep.hr/resources/services/2/EcoAisle.pdf>
- Article « Datacenter, un nouveau mode de chauffage ? » publié en 2012 par Matthieu Le Berre, consultant chez Solucom, management & IT consulting
<http://www.energystream-solucom.fr/2012/11/data-center-un-nouveau-mode-de-chauffage/>
- Etude de cas Datacenter de Thor en Islande
<http://www.greenit.fr/article/acteurs/hebergeur/le-premier-datacenter-zero-emission-est-islandais-4018>
<http://www.abb.fr/cawp/seitp202/4f3f038ac2060a9ec125792c00514f3d.aspx>
- Etude de cas Facebook en Suède
http://www.lesechos.fr/tech-medias/diaporamas/DIAP130613960_9C4ADB-au-coeur-du-data-center-de-facebook-en-suede-575309.php
<http://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-facebook-ouvre-son-1er-datacenter-europeen-en-suede-54005.html>
<http://www.linformaticien.com/actualites/id/29392/un-datacenter-facebook-pres-du-cercle-polaire-en-suede.aspx>
http://www.liberation.fr/economie/2013/04/15/le-data-center-de-facebook-consommerait-1-de-l-energie-de-la-suede_896258



CREDIT DES ILLUSTRATIONS

- **Illustration de première page** : le monde connecté
<http://www.infoguerre.fr/wp-content/uploads/2013/01/societe-information.jpg>
- **Illustration 1** : Taux d'équipement en ordinateur, tablette et smartpone et accès à Internet à domicile (en %)
<http://www.observatoire-du-numerique.fr/arcep-diffusion-des-tic-dans-la-societe>
- **Illustration 2** : Les pays en progressions
Source : Union internationale des télécommunications (UIT) – 2013
- **Illustration 3** : Nombre d'abonnés Internet par 1000 habitants en 2009
<http://chroniquescathares.blog.lemonde.fr/author/chroniquescathares/>
- **Image** : Evolution des TIC en afrique
http://www.memoireonline.com/10/10/4051/m_Impact-des-Technologies-de-l-Information-et-de-la-Communication-tissu-productif--biens-services15.html
- **Illustration 4** : Carte des datacenters certifiés par l'Uptime Institute : (7 février 2014)
<http://www.universfreebox.com/article/24151/Online-DC3-est-le-premier-et-le-seul-data-center-certifie-Tier-IIIen-France>
- **Illustration 5** : Carte des DataCenters de la côte Est américaine
http://affordance.typepad.com/mon_weblog/technologies_p2p_grid/
- **Illustration 6** : Implantation des data-centers de Google dans le monde en 2012
<http://unblogsurlaterre.com/actualites-environnement-sur-la-terre/cloud-computing-des-choix-energetiquesdeterminants-pour-lavenir-010/>
- **Illustration 7**: Évolution de la consommation du papier depuis 1950 et lien avec l'apparition des nouvelles technologies
- **Tableau 1** : Cadre conceptuel d'analyse des liens entre TIC en environnement
- **Illustration 8**: Les métaux au service des TIC
http://www.encyclo-ecolo.com/Epuisement_des_ressources_naturelles
- **Figure 1** : Représentation schématiques des différentes durée de vie



- **Illustration 10** : Dans le bidonville d’Old Fadama, à Accra.
http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/12/27/les-dechets-electroniques-intoxiquent-le-ghana_4340635_3244.html
- **Illustration 11**: L'intérieur d'un datacenter
- **Illustration 12**: Schéma d'un systèmes de refroidissement
http://fr.wikipedia.org/wiki/Free_cooling
- **Illustration 13**: EcoAisle

