

« Green IT » ou comment concilier l'écologie et l'informatique

Travail de diplôme réalisé en vue de l'obtention du diplôme HES

par :

Sébastien DECROUX

Conseiller au travail de diplôme :

Claire BARIBAUD, chargée d'enseignement

Carouge, 14 septembre 2009

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Filière Informatique de Gestion

Déclaration

Ce travail de diplôme est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor en Informatique de Gestion. L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de diplôme, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de diplôme, du juré et de la HEG.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Genthod, le 14.09.2009

Sébastien Decroux

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier particulièrement Mme. Claire BARIBAUD pour avoir accepté de superviser ce travail de Bachelor, pour l'intérêt qu'elle y a porté, ainsi que pour m'avoir apporté de nouvelles perspectives.

Un grand merci à M. Philippe VOLLICHARD pour avoir accepté d'être membre du jury.

Finalement un immense merci à ma famille et à Catherine pour leur soutien tout au long de ces trois années, ainsi que pour le temps passé à relire ce travail de Bachelor.

Sommaire

Dans les années à venir l'écologie va prendre de plus en plus d'importance et ceci pour plusieurs raisons. Premièrement, nous nous trouvons dans une situation où nous ne pouvons plus continuer à puiser indéfiniment dans les ressources de la planète. Il faudra donc faire preuve de créativité pour remplacer certaines ressources énergétiques que nous utilisons actuellement. Deuxièmement, il est important que l'homme prenne conscience de l'impact de ses actions sur le délicat équilibre de l'écosystème de notre planète. C'est pourquoi aujourd'hui, il lui faut intégrer la problématique écologique dans tous les domaines et notamment dans celui de l'informatique.

Ce travail de Bachelor mène une réflexion sur la manière de concilier l'écologie et l'informatique, tout en assurant la productivité des entreprises concernées.

Pour atteindre cet objectif, cette recherche s'articule autour de plusieurs parties qui présentent :

- Les différents labels et autres directives existants.
- Les actions écologiques entreprises par les entreprises du domaine des technologies de l'information et de la communication (TICs).
- Les solutions logicielles et matérielles qui permettent une gestion optimale de la consommation d'énergie.

De cette présentation, ainsi que de la réflexion qui s'en suit, découle un guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé (SII), qui permette de limiter les impacts sur l'environnement.

Les conclusions mises en évidence sont que :

- Aujourd'hui, il existe un certain nombre de composants informatiques écologiques.
- Les entreprises investissent davantage dans ce domaine.
- Il existe une multitude de certifications et de directives.
- Il est difficile de comparer des produits similaires certifiés, mais également de comparer qualitativement deux labels écologiques semblables.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Sommaire.....	iii
Table des matières	iv
Liste des Tableaux	vii
Liste des Figures.....	vii
Introduction	1
1. Ecologie : Etat des lieux	3
1.1 Les gaz à effet de serre :	3
1.2 Accroissement des besoins énergétiques.....	6
1.3 Pollution des sols	9
2. Sémantique.....	10
2.1 Développement durable	10
2.2 « Green IT »	10
2.3 Eco-Conception	11
2.4 Analyse de Cycle de Vie (AVC)	11
2.5 Bilan Carbone	11
2.6 Bourse du carbone ou les permis de polluer.....	12
2.7 Dow Jones Sustainability Indexes.....	12
2.8 Système d'information informatisé(SII).....	12
3. Rôle des SII dans la pollution.....	13
3.1 Quelques chiffres	13
3.1.1.1 Les « fermes » de Google.....	14
3.2 Cycle de vie du matériel informatique.....	15
3.2.1 Fabrication.....	16
3.2.2 Livraison	17
3.2.3 Exploitation	18
3.2.4 Recyclage.....	18
3.2.5 Conclusion de l'analyse du cycle de vie	19
3.3 Quid des logiciels	19
4. Les labels écologiques et autres législations	20
4.1 Les certifications	20
4.1.1 Haute Qualité Environnementale (HQE)	20
4.1.2 Energy Star.....	20
4.1.3 Epeat.....	21
4.1.4 80 PLUS	22
4.1.5 GREENGUARD.....	23
4.1.6 TCO.....	23
4.1.7 ISO – 14001	24
4.1.8 Blue Angel	25
4.2 Les réglementions	25

4.2.1	REACH.....	25
4.2.2	RoHS.....	25
4.2.3	Energy-using products (EUP)	26
4.2.4	Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) ..	26
5.	Exposé des solutions écologiques mises en place par les différents acteurs du domaine des technologies	27
5.1	Le guide de « l'électronique green »	28
5.2	Quelles solutions proposées par les constructeurs ?	31
5.3	Les éco-Entreprises	31
5.3.1	DELL	31
5.3.2	Apple	33
5.3.3	Google.....	34
5.3.4	Les fabricants de Processeurs (AMD, Intel)	34
5.3.4.1	Intel	35
5.3.4.2	AMD	35
5.3.5	IBM.....	36
5.3.6	Microsoft.....	37
5.3.7	Société de Service en Ingénierie Informatique (SSII)	37
5.3.8	Conclusion.....	38
5.4	Quelles solutions pour rendre son système d'information informatisé (SII) écologique ?.....	39
5.4.1	Les éco-composants.....	39
5.4.1.1	Les éco-portables	40
5.4.1.2	Des disques durs écologiques	42
5.4.1.3	Des écrans écologiques.....	42
5.4.1.4	Des processeurs plus économiques.....	43
5.4.2	Les solutions logicielles et matérielles pour gérer les impacts écologiques	45
5.4.2.1	Gérer l'énergie des postes clients :	45
5.4.2.2	Critique des logiciels de gestion de l'énergie des postes de travail ...	46
5.4.2.3	Gérer l'énergie des serveurs.....	46
5.4.2.4	Critique des solutions pour gérer l'énergie des serveurs.....	47
5.4.2.5	Contrôle de la politique environnementale de l'entreprise	47
5.4.2.6	Adapter son architecture pour un éco-SII	47
5.4.2.7	Le Power Usage Effectiveness (PUE)	47
5.4.2.8	Google et son architecture serveur.....	50
5.4.2.9	Optimiser son PUE	51
5.4.2.10	Informers ses collaborateurs.....	55
6.	Réflexion	56
6.1	La problématique des labels et autres réglementations	56
6.2	Qui est le leader dans le développement écologique ?	57
6.3	L'état doit-il intervenir de manière contraignante ?	58
6.4	Quelles solutions pour diminuer la consommation ?	59
6.5	Peut-on limiter l'augmentation des appareils électroniques ?.....	60
6.6	Quand l'informatique aide l'écologie	63
6.7	Le guide du Système d'Information Informatisé écologique	64
7.	Conclusion.....	65
8.	Bibliographie	66
8.1	Publications	66
8.2	Articles	66
8.3	Sites internet.....	67

Annexe 1 Emission de gaz à effet de serre dans l'Union européenne	69
Annexe 2 Guide to greener electronics (July 2009)	70
Annexe 3 Consommation électrique disque dur Seagate Barracuda LP	71
Annexe 4 Fiche technique MacBook 466.....	72
Annexe 5 Guide de mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement.....	73

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Consommation électrique du MacBook modèle MB466 et MB467	40
Tableau 2 : Consommation Dell XPS M1330.....	41
Tableau 3 : Gestion de l'énergie des postes de travaux.....	45
Tableau 4 : Gestion de l'énergie des serveurs.....	46
Tableau 5: Emission de gaz à effet de serre.....	69

Liste des Figures

Figure 1 : Evolution des investissements dans le Green IT	2
Figure 2 : Evolution des GES	4
Figure 3 : Evolution des besoins énergétiques	6
Figure 4 : Evolution des émissions de CO ₂ dû à l'énergie fossile.....	7
Figure 5: Evolution de la consommation mondiale (en % Mtep).	8
Figure 6 : Représentation graphique du développement durable.....	10
Figure 7 : Cycle de vie du matériel électronique	16
Figure 9 : Variation du PUE dans les data centers de Google	48
Figure 10: Comparaison de l'utilisation énergétique	49
Figure 11: Architecture serveur Google	50
Figure 12: Evolution des dépenses pour un data center	51
Figure 13: Refroidissement par le faux plancher	53
Figure 14: Refroidissement en boucle fermée	54

« [...] Demain, nous devons partager plus et mettre en commun plus par désir ou nécessité. En tout état de cause, nous ne pourrons pas consommer plusieurs planètes. [...]»

Yannick Comenge, chercheur en Microbiologie

Introduction

Aujourd'hui, l'écologie est un enjeu majeur pour notre société. Le nombre d'études scientifiques nous prédisant des catastrophes à l'échelle mondiale si personne ne revoit sa façon de vivre en témoignent. L'écologie est donc une science qui prend une importance grandissante et ses répercussions se manifestent dans tous les domaines.

Ainsi, l'augmentation des gaz à effet de serre, des besoins en énergie et de la pollution des sols sont des problématiques qui concernent également le domaine des technologies de l'information et de la communication (TICs).

Comme l'a énoncé Yann Arthus-Bertrand : « *Chacun est responsable de la planète et doit la protéger à son échelle* »¹. Il paraît donc essentiel que chacun intègre la problématique écologique dans son quotidien et fasse en sorte de l'améliorer. Ceci non seulement en mettant en pratique des gestes écologiques dans sa vie de tous les jours, mais aussi en agissant directement dans son domaine professionnel.

Au travers de ce travail, l'objectif est de sensibiliser les professionnels de l'informatique à l'écologie, ceci afin qu'elle fasse, autant que possible, partie intégrante des décisions stratégiques de l'entreprise. Sans rentrer dans un fanatisme écologique, il est nécessaire de limiter les impacts écologiques, tout en maintenant sa productivité. C'est le grand défi des sociétés industrielles : maintenir leur productivité tout en trouvant un équilibre avec l'écosystème environnant.

Nous ne sommes encore qu'au début de cette nouvelle ère. Des actions écologiques commencent à se mettre en place. Les différents acteurs de cette problématique se doivent de collaborer ; que ce soit les gouvernements, les associations écologiques, les industriels ou les sociétés de service ayant recours à l'informatique. Comme nous le montrent les chiffres de la Figure 1 (page 2) tirée d'une étude de Forrester², à l'heure actuelle l'informatique verte (« Green IT ») est en pleine expansion. Les budgets alloués aux services informatiques écologiques sont en constante augmentation. En outre, les entreprises se montrent davantage intéressées par l'acquisition de « technologies vertes » existantes et investissent donc, de plus en plus, dans ce domaine.

¹ Extrait d'une interview sur L'internaute.com - Janvier 2002

² The Dawn of Green IT Services, Forrester, 2008

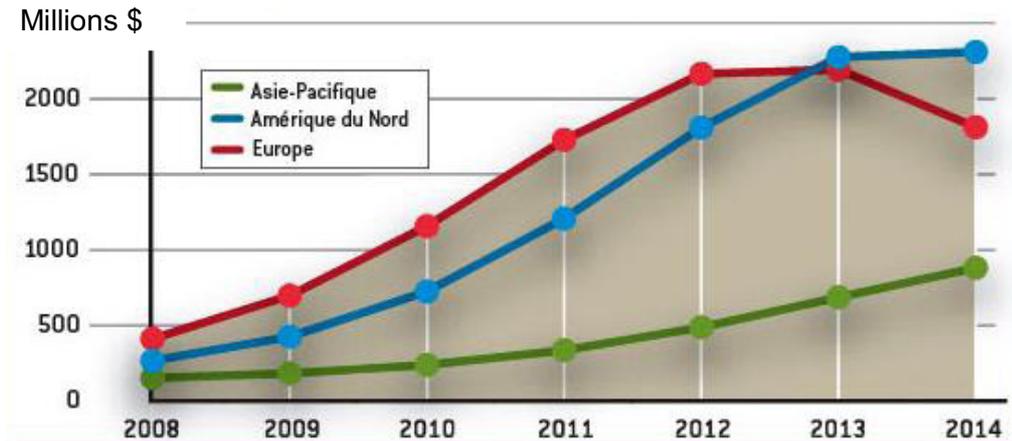


Figure 1 : Evolution des investissements dans le Green IT

Ce marché devrait atteindre un pic d'ici 2013, puis à mesure que les technologies écologiques seront déployées dans les entreprises, les investissements devraient considérablement diminuer.

La recherche intitulée « Green IT » ou comment concilier l'écologie à l'informatique » s'articule autour de trois parties. La première partie traite de l'écologie de manière générale et a pour objectif de fixer la sémantique du domaine. La seconde partie présente les efforts fournis par un certain nombre d'entreprises du domaine informatique pour limiter leur impact écologique. Finalement ce travail se termine par la rédaction d'un guide pour favoriser le déploiement d'un système informatique écologique au sein d'une entreprise.

1. Ecologie : Etat des lieux

Je vais, dans un premier temps, présenter les principes reliant l'écologie à l'informatique.

L'électronique en général et l'informatique en particulier ont des conséquences néfastes, essentiellement sur trois aspects environnementaux :

- Les émissions de gaz à effet de serre
- L'accroissement des besoins énergétiques
- La pollution des sols

Parmi ces trois aspects, il y a matière à discussion, dans la mesure où les besoins énergétiques sont en relation avec la problématique des gaz à effet de serre. En effet, l'électricité fournie par des centrales thermiques produit une augmentation des émissions de CO₂. La raison pour laquelle j'ai évoqué ces trois aspects, est qu'en intégrant la problématique environnementale dans le domaine de l'informatique, on agira directement sur ces points.

Avant d'aller plus loin dans cette réflexion, je vais tout d'abord faire un bref rappel de ces problématiques environnementales, en donnant quelques chiffres et en rappelant les conséquences à long terme si notre comportement vis-à-vis de notre planète n'est pas remis en question.

1.1 Les gaz à effet de serre :

Les gaz à effet de serre³ (GES) sont des composants gazeux qui contribuent par leur propriété physique à l'effet de serre. L'effet de serre est un phénomène naturel qui contribue à retenir une partie de la chaleur solaire reçue, et ainsi maintenir un équilibre thermique sur notre planète. Sans le phénomène de l'effet de serre, la température sur terre serait de l'ordre de -18 degrés Celsius et serait donc trop froide pour avoir de la vie.

L'augmentation des GES se traduit par un réchauffement climatique. Une des conséquences les plus visibles de l'accroissement des GES est la fonte des neiges dans l'antarctique (des glaciers). L'eau issue de la fonte des glaciers émergés, entraîne une augmentation du niveau de la mer et des océans. Une élévation du niveau des eaux des océans aura, à moyen terme, des conséquences pour les populations qui habitent en bordure de mer. Ces populations seront les premières

³ http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_%C3%A0_effet_de_serre

victimes directes du réchauffement climatique et devront abandonner leurs terres. On parlera alors de réfugiés-climatiques pour décrire les populations qui devront fuir leur terre à cause du réchauffement atmosphérique.

D'après un rapport publié par le Forum Humanitaire Mondial⁴, on estime qu'aujourd'hui qu'il y a 300'000 victimes du réchauffement climatique par an. Comme nous le montre le Tableau 1, on assiste depuis la révolution industrielle (1780-1820) à une très forte augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère qui a augmenté de manière exponentielle durant la période 1900-2000 !

Les variations de concentrations en CO₂ atmosphérique depuis 400 000 ans .

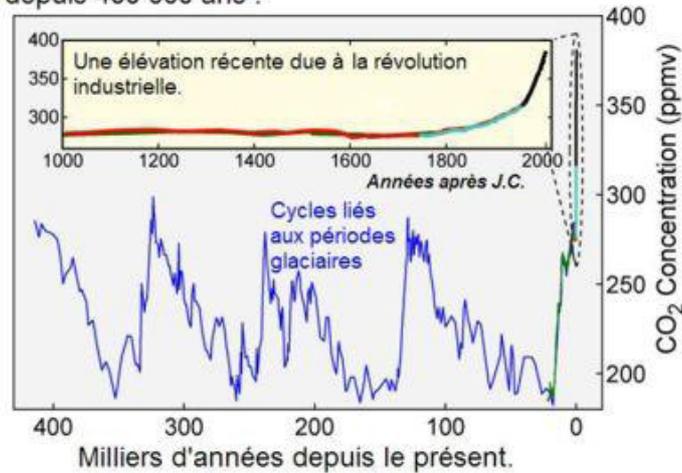


Figure 2 : Evolution des GES

Ainsi, les émissions de CO₂ ne cessent de croître, malgré la ratification du protocole de Kyoto en 1998 (ratifié par 172 pays à l'exception des Etats-Unis) qui est entré en vigueur en février 2005. L'objectif de ce protocole était d'atteindre une réduction des émissions de CO₂ de 5.2% par rapport aux émissions de 1990.

Il est regrettable qu'une grande partie des pays ayant ratifié ce protocole n'aie pas atteint les objectifs fixés. Ceci peut s'expliquer par le fait que certains pays occidentaux ont préféré maintenir leur croissance au détriment de la cause écologique. A ceci, s'ajoutent tous les pays émergents, ou en voie de développement qui ont vécu une croissance très forte ces dernières années et qui n'ont pas intégré la problématique environnementale dans leur expansion.

Au mois de décembre 2009 se tiendra la conférence de Copenhague. Ce forum annuel regroupe les différents pays qui ont ratifié la Convention cadre des Nation Unies sur le changement climatique. Le but de cette conférence est de permettre aux différents

⁴ «Changement climatique: l'anatomie d'une crise silencieuse», Forum Humanitaire Mondial 2009

gouvernements présents de négocier un nouvel accord, qui devra remplacer le protocole de Kyoto (qui prend fin en 2012).

La fonte des glaces n'est qu'une conséquence qui illustre le réchauffement climatique. On observe aussi des conséquences sur les écosystèmes, certaines variétés de plantes ou d'animaux disparaissent. Il y a également des conséquences climatiques, puisque l'on s'attend à une augmentation des catastrophes naturelles, des cyclones, des sécheresses ou encore des inondations.

Par conséquent, l'augmentation des GES va modifier l'écosystème de l'homme et sa façon de vivre. Il ne faut donc pas prendre à la légère cette problématique et tout mettre en œuvre avant que cela ne soit trop tard.

1.2 Accroissement des besoins énergétiques

Une des grandes problématiques de notre société est notre besoin croissant en énergie. Avec le développement et le recours croissant à des appareils électroniques, les besoins en énergie ne cessent de croître.

Aujourd'hui nous disposons de diverses sources d'énergies :

- Energie fossile
- Energies renouvelables
- Energie nucléaire

L'énergie fossile est issue de la combustion du pétrole, du gaz naturel ou du charbon.

Les énergies renouvelables sont des énergies qui sont issues d'un phénomène naturel, dont le cycle est beaucoup plus court que les énergies fossiles. On trouve ces énergies sous différentes formes, dont voici les plus connues :

- Energie solaire
- Energie éolienne
- Energie hydraulique
- Energie géothermique

Les énergies renouvelables ont des potentiels de développement très forts. Nous ne sommes encore qu'au début de cette ère et grâce aux différentes recherches menées dans ces domaines, on va pouvoir augmenter l'efficacité de ces énergies, ce qui favorisera leur implantation.

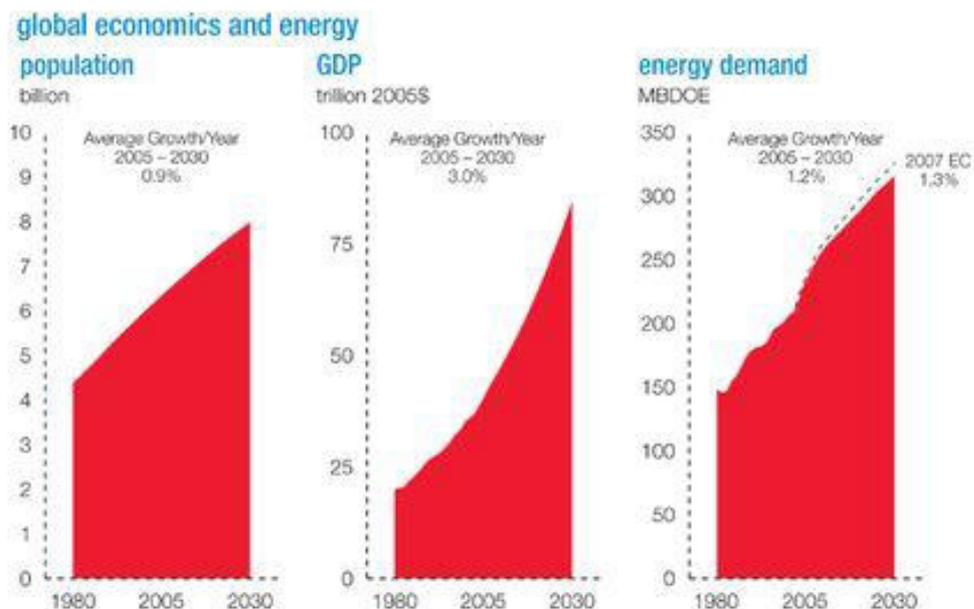


Figure 3 : Evolution des besoins énergétiques

Une étude menée par Exxon-Mobil⁵ nous montre l'évolution des besoins énergétiques de la population mondiale. Comme présenté dans la Figure 3, cet accroissement des besoins énergétiques est intimement lié à l'augmentation de la population et à celui des richesses. Suivant cette tendance, l'étude menée par Exxon-Mobil prédit qu'en 2030, les besoins en énergie auront augmenté de 35% par rapport aux besoins énergétiques de 2005 !

Cette demande en énergie n'est, bien sûr, pas sans conséquences pour l'environnement. Comme nous le montrent les chiffres de la Figure 4, les émissions de carbone liées à la production d'énergie fossile sont en très nette augmentation.

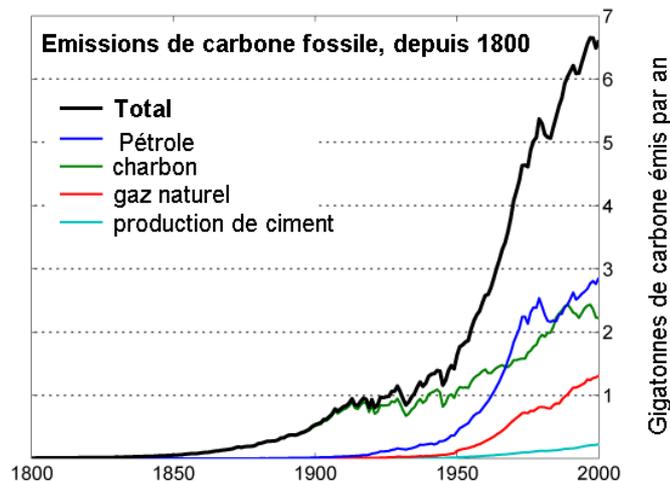


Figure 4 : Evolution des émissions de CO₂ dû à l'énergie fossile

Ainsi, la Figure 4, corrobore le fait qu'une augmentation des besoins énergétiques (Figure 5, page 8) se traduit en une augmentation des émissions de CO₂. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'une des principales sources d'énergie utilisée est l'énergie fossile.

⁵ Energy Outlook, Exxon-Mobil, 2008

Comme le montrent les chiffres⁶ de la Figure 5, depuis 1980 on assiste à une diminution de l'utilisation du pétrole comme énergie fossile, à un léger accroissement de l'utilisation du gaz naturel et un niveau stable pour le charbon. La diminution de la consommation de pétrole peut s'expliquer par les fluctuations des marchés boursiers sur le cours de ce dernier. En effet, étant donné les incertitudes liées aux réserves pétrolifères mondiales et bien souvent à l'incertitude politique des pays extracteurs de pétrole, le cours de ce combustible est très instable.

	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Pétrole	42%	37%	37%	38%	38%	37%
Gaz naturel	20%	22%	23%	24%	25%	25%
Charbon	34%	37%	36%	34%	32%	34%
Electro nucléaire	0.8%	1.5%	1.8%	2.0%	2.3%	1.94%
Hydro électricité	2.0%	2.1%	2.1%	2.3%	2.1%	2.15%
Energies renouvelables	0.04%	0.06%	0.13%	0.17%	0.21%	0.26%

Figure 5: Evolution de la consommation mondiale (en % Mtep).

Il peut paraître surprenant que le gaz, qui ne subit pas nécessairement les mêmes pressions que le pétrole, ne soit pas plus utilisé. L'explication réside dans le fait que le cours du gaz, pour des raisons historiques, est indexé sur le cours du pétrole. Le gaz « subit » donc la volatilité du pétrole et par conséquent ne représente pas une source stable d'énergie (au niveau des coûts qu'il engendre). Cette volatilité des cours du pétrole et du gaz permet d'expliquer que le charbon est encore un combustible très utilisé.

Finalement, on observe que les énergies renouvelables sont en pleine expansion et qu'au fur et à mesure des années, grâce aux connaissances supplémentaires dans ce domaine, elles pourront devenir une source majeure d'énergie.

⁶ Source : Energy Information Administration / Department Of Energy

1.3 Pollution des sols

Une des résultantes de la mauvaise gestion des déchets en général et de ceux de l'électronique et de l'informatique est la pollution des sols. En effet, les composants électroniques sont généralement fabriqués avec des substances ou matières chimiques extrêmement nocives qui durant de longues années ont été laissées à l'abandon.

Aujourd'hui, les pays occidentaux jouent un double jeu; ils sont pleinement conscients de la dangerosité des produits toxiques contenus dans les composants informatiques. C'est la raison pour laquelle ils militent pour le recyclage des composants. Simultanément, ils ne condamnent pas avec virulence les fabricants de composants électroniques qui acheminent les déchets électroniques dans des pays non-industrialisés ou en voie d'industrialisation, ceci malgré des lois internationales qui interdisent ce genre de pratique.

L'exemple le plus frappant de pollution des sols concerne la Silicon Valley en Californie qui est le fief des grandes entreprises dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TICs).

Du fait qu'il n'y a jamais eu de réelle stratégie de recyclage et que le recyclage consistait à enfouir les équipements électroniques usagés sous terre, les sols californiens ont beaucoup souffert. La conséquence de cette pollution des sols a été qu'avec le temps, 85% des réserves d'eau ont été contaminées par les déchets informatiques. C'est déjà en 1982⁷ que les habitants de la Silicon Valley ont pu constater les premiers effets de la contamination des sols. La contamination des nappes phréatiques a bien entendu eu des conséquences sur les populations. On observe notamment, depuis vingt ans, des taux supérieurs à la moyenne nationale de fausses couches ou de malformations chez les nouveau-nés. Plusieurs procès sont en cours pour déterminer quels sont les responsables de cette catastrophe.

⁷ <http://www.svtc.org>

2. Sémantique

Ce chapitre a pour objectif de fixer la sémantique du contexte de ce travail, de telle manière que la lecture de cette recherche en soit facilitée.

2.1 Développement durable

Le développement durable peut être caractérisé comme étant un développement qui répond aux générations présentes sans pour autant prêter aux générations futures. C'est un développement qui prend en compte plusieurs aspects tels que l'écologie, le social et l'économique. L'objectif est de répondre aux besoins des consommateurs en intégrant ces paramètres.

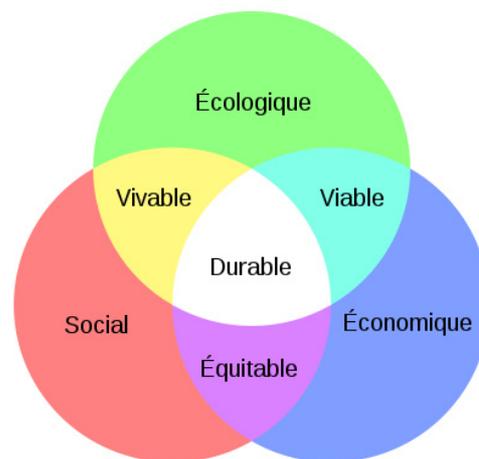


Figure 6 : Représentation graphique du développement durable

Aujourd'hui, un certain nombre d'actions telles que le commerce équitable suivent la voie du développement durable. Il ne faut donc pas seulement voir dans le développement durable l'aspect écologique, mais également les aspects économiques et sociaux.

2.2 « Green IT »

Littéralement on peut traduire le « Green IT » comme étant l'informatique écologique⁸.

Le « Green IT » est un concept en pleine évolution ; ainsi il ne convient pas de se tenir à la définition que l'on pourrait trouver sur des sites internet comme Wikipedia, qui définissent le « Green IT » comme une tendance qui consiste à prendre en compte les coûts énergétiques du matériel informatique. Le « Green IT » est un concept qui doit être intégré au moment du déploiement de systèmes informatiques. On ne doit pas

⁸ http://fr.wikipedia.org/wiki/Green_computing

seulement se focaliser sur les aspects énergétiques, mais également sur la composition chimique des composants que l'on va installer. On doit même encore aller plus loin, en prenant en compte le cycle de vie du composant et les impacts environnementaux résultant notamment de son cycle de recyclage.

2.3 Eco-Conception

Eco-conception est un concept qui révèle que tout produit (produit de bien) ou processus (produit de service) a un impact sur l'environnement.

L'éco-conception fait donc intervenir au moment de la conception et de la fabrication, les aspects environnementaux. En outre, l'éco-conception prend en compte les impacts environnementaux dans le cycle de vie du produit.

Le degré de qualité d'un produit ou d'un processus se mesure à l'aide d'un écobilan ou de l'analyse du cycle de vie du produit.

2.4 Analyse de Cycle de Vie (AVC)

Une analyse de cycle de vie (AVC) est un moyen d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service.⁹ Dans le cas de cette recherche, j'ai généralisé l'AVC aux impacts environnementaux.

Ainsi, l'objectif de ce concept n'est pas seulement d'évaluer les impacts environnementaux d'un composant électronique (dans notre cas) au moment de son utilisation, mais d'évaluer l'impact environnemental de sa conception jusqu'à sa fin de vie. Nous reviendrons plus en détail sur ce concept dans la suite de ce document.

2.5 Bilan Carbone

Le bilan carbone est un outil qui permet de calculer les émissions de gaz à effet de serre. Les données issues de cet outil vont permettre de faire une évaluation des émissions induites par une activité ou un état.

Finalement, le bilan de carbone devrait servir de base pour la future taxe carbone qui devrait voir le jour dans les années à venir. En outre, cet outil permet déjà aujourd'hui aux entreprises qui le souhaitent, de calculer leur bilan carbone. A partir de là, elles peuvent prendre les mesures qui s'imposent afin de réduire leur empreinte carbonique.

⁹ Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_du_cycle_de_vie

2.6 Bourse du carbone ou les permis de polluer

La bourse de carbone est un marché public d'échange des crédits d'émissions des GES. Dans le cadre d'un mécanisme réglementaire (appelé « allowances ») les gouvernements accordent des crédits d'émissions de CO₂ aux diverses entreprises dont les installations fixes ont une puissance supérieure à 20MW. Ainsi chaque année, les entreprises possèdent un quota d'émission représentatif du total des émissions de l'année précédente. Si elles dépassent ce quota elles peuvent acquérir des quotas supplémentaires sur le marché des échanges de carbone. Si elles possèdent un surplus de quota, elles peuvent les remettre en vente sur le marché.

Ainsi, ce mécanisme est censé réguler les émissions de CO₂ et encourager les entreprises à mettre en œuvre des moyens de réduction des émissions, enquel cas elles seront récompensées en remettant en vente les quotas superflus.

2.7 Dow Jones Sustainability Indexes

Le Dow Jones Sustainability a été créé en 1999. Il contient des indices qui sont déterminés à partir de la performance des entreprises dans le domaine du développement durable et plus seulement sur la performance économique.

2.8 Système d'information informatisé(SII)

Un système d'information informatisé (SII) est un système ou un sous-système d'équipements, d'informatique ou de télécommunications interconnectés. L'objectif est de pouvoir gérer des données sous différentes formes en faisant intervenir des logiciels et du matériel.

3. Rôle des SII dans la pollution

3.1 Quelques chiffres

Selon une étude de Gartner¹⁰, l'industrie des technologies de l'information et de la communication (TICs) participeraient à hauteur de 2% aux émissions de CO₂.

L'industrie des TICs inclut notamment l'utilisation :

- d'ordinateurs, de serveurs
- de téléphones mobiles et fixes
- d'imprimantes
- de système de refroidissement et de réseaux (LAN)

Quant à la consommation électrique, selon une étude menée par l'université de Stanford¹¹ en 2005 pour le compte de la société AMD (fabricants de micro processeurs), la consommation des différents centres de serveurs a doublé entre 2000 et 2005, pour atteindre une consommation annuelle de l'ordre de 45 milliards de kWh, représentant un coût de 7,2 milliards de dollars.

Selon le cabinet Forester¹², 1 milliard d'ordinateurs personnels (PC) étaient en service en 2008 dans le monde et l'on devrait atteindre le chiffre de 2 milliards de PC à l'aube de 2015. Toujours selon Forester, il s'amoncelait entre 20 et 50 millions de tonnes d'e-déchets en 2005. Ce chiffre devrait croître de 3 à 5% par année.

En Europe, selon une étude de l'université des Nations Unies¹³, on rejette dans l'atmosphère près de 26 tonnes de mercure et 16 tonnes de cadmium par an et ce, essentiellement à cause de l'incinération des DEEE (Déchets d'Equipements Electroniques et Electriques).

Au travers de ces données, on se rend mieux compte de l'impact direct que produisent les SII face à l'écologie. Cependant, ces chiffres quantifient seulement les impacts directs et non les indirects. Ainsi, pour évaluer les conséquences réelles sur l'environnement, il faudrait encore prendre en compte les impacts indirects, tels que la

¹⁰ Gartner Estimates ICT Accounts for 2 Percents of Global CO2 Emissions, 2007

¹¹ ESTIMATING TOTAL POWER CONSUMPTION BY SERVERS IN THE U.S. AND THE WORLD, Jonathan G. Koomey, Ph.D.

¹² La pollution high-tech, Le Monde, Dossier, juin 2007

¹³ 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), United Nation University, 2007

construction de centres de production, le transport des produits et les coûts énergétiques de fabrication.

Ces chiffres montrent qu'il faut prendre en compte la problématique écologique dans la conception des appareils informatiques. C'est la raison pour laquelle, nous devons mettre en place des dispositifs qui nous permettent de contrecarrer l'impact écologique résultant de l'augmentation des équipements électroniques.

3.1.1.1 Les « fermes » de Google

Pour illustrer cette dépendance énergétique, prenons l'exemple de l'entreprise Google. Google est avant tout un moteur de recherche sur internet qui permet de retrouver de l'information sur internet. Pour répondre aux requêtes des utilisateurs, Google a dû déployer plusieurs « data centers » sur différents sites, dispersés un peu partout dans le monde.

Les centres de serveurs (« fermes ») de Google sont un des secrets les mieux gardés dans le monde de l'informatique. Personne ne connaît leur emplacement exact, leur nombre exact et le nombre de serveurs qu'elles contiennent. Néanmoins, d'après une étude du journal *The Economist* datant de fin 2008¹⁴, il semblerait que Google possède environ 36 centres de serveurs dans le monde et un total de plus de 2 millions de serveurs. Personne ne sait exactement comment fonctionnent les serveurs de Google. Néanmoins, en se basant sur une étude de Jonathan G. Koomey¹⁵, on estime la consommation d'un serveur à 200 Watts. Attention, ce chiffre indique une consommation moyenne, car la consommation peut varier en fonction de l'état d'utilisation du serveur. On estime à 650 Watts la consommation d'un serveur soumis à d'intenses charges de calculs !

¹⁴ *The Economist*,
http://www.economist.com/specialreports/displaystory.cfm?story_id=12411920

¹⁵ ESTIMATING TOTAL POWER CONSUMPTION BY SERVERS IN THE U.S. AND THE WORLD, Jonathan G. Koomey, Ph.D.

Ainsi à l'aide de ces chiffres, il nous est possible d'estimer la consommation annuelle en électricité de Google :

Nombre de serveurs : 2 millions ($2 \cdot 10^6$)

Temps de fonctionnement : 365 jours/année

Consommation électrique pour une heure = $2 \cdot 10^6 \cdot 200 = 400'000'000$ Watts, ce qui correspond à 0.4 Giga Watts.

Consommation électrique pour une année = $400000000 \cdot 365 \cdot 24 = 3'504'000'000'000$ Watts heure en 2008

La consommation énergétique de Google serait donc de 3.5 TWh/an. Selon des chiffres fournis par EDF¹⁶, une centrale dotée d'un réacteur de 900 MW produit en moyenne chaque mois 500'000 MWh, ce qui permet de fournir 6 TWh par année en moyenne. Ainsi, on observe que la totalité des serveurs de Google ont des besoins énergétiques aussi grands que ce que fournit une demi-centrale nucléaire ! De plus, un paramètre n'a pas été inclus dans ce calcul, c'est la consommation électrique des systèmes de refroidissement. Nous reviendrons sur cet aspect plus loin dans ce document, mais il est intéressant d'observer qu'aujourd'hui les systèmes de refroidissement consomment autant voire même plus que ce que consomme un serveur. Pour exprimer la quantité d'énergie nécessaire pour refroidir un serveur, on dit que pour 1 Watt consommé par un serveur il faut consommer 1 Watt pour le refroidir.

Ainsi, au travers de ces quelques chiffres et de l'exemple de Google, on se rend bien compte de l'impact des systèmes d'information sur l'environnement. Il est essentiel de prendre en compte l'aspect environnemental, car avec l'explosion des ventes de matériel électronique, nous allons encore accélérer les impacts néfastes sur l'environnement.

3.2 Cycle de vie du matériel informatique

Beaucoup d'entreprises tentent d'agir directement sur leur infrastructure, afin de faire diminuer l'impact sur l'environnement. Elles cherchent à mettre au point des procédés qui leur permettent de diminuer, par exemple, la consommation électrique de leurs systèmes. Nous verrons par la suite quelles sont les solutions préconisées par les entreprises du domaine des TICs pour essayer d'améliorer leur relation vis-à-vis de la problématique environnementale.

¹⁶ <http://www.edf.com/html/panorama/production/nucleaire/france.html>

On peut se demander si ces entreprises prennent effectivement en compte les aspects environnementaux, ou si elles observent qu'en investissant dans du matériel plus écologique, elles arriveront à faire sensiblement diminuer certains coûts, comme par exemple ceux engendrés par la consommation d'électricité.

Nous allons voir en détail la totalité ces étapes du cycle de vie du matériel informatique. Le matériel informatique étant composé de composants électroniques, je ne ferai pas de distinction entre les composants électroniques et le matériel informatique.

Dans une analyse des impacts environnementaux de composants électroniques, il serait réducteur de se limiter à une seule étape du cycle (généralement la phase d'exploitation) de vie d'un composant électronique. C'est le cycle complet qui doit être analysé et ceci pour chaque phase du cycle de vie, de façon à bien cerner les impacts directs et indirects sur l'environnement.

Le cycle de vie peut être exprimé en 4 phases :

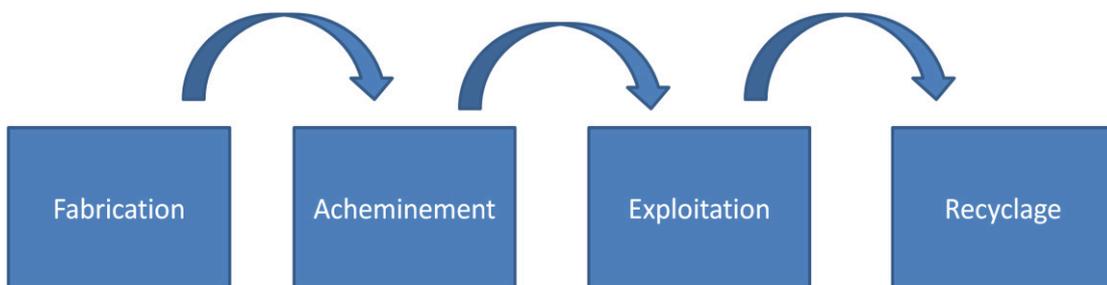


Figure 7 : Cycle de vie du matériel électronique

Au cours de chacune de ces phases, on doit intégrer la problématique environnementale et revoir les différents processus, afin que chacun de ces processus prenne en compte les impacts environnementaux.

Regardons maintenant chacune de ces phases individuellement et montrons quelles en sont les conséquences sur l'environnement.

3.2.1 Fabrication

Le processus de fabrication est certainement un des éléments clef du cycle de vie du matériel, car en fonction des composants qui y seront utilisés, ils auront des impacts directs sur la suite du cycle de vie.

Par exemple, si le fabricant utilise des matériaux toxiques pour la fabrication de ses composants il faudra mettre en place un processus de recyclage qui prenne en compte ces aspects.

Nous observons que, depuis l'apparition des composants électroniques, les fabricants ne se sont jamais vraiment posé la question de prendre en compte la toxicité d'un composant et en conséquence d'envisager les méthodes de recyclage possibles afin de minimiser la pollution de l'environnement.

Aujourd'hui, cette situation évolue, les constructeurs commencent à prendre conscience des aspects environnementaux dans les processus de fabrication de leurs composants.

Néanmoins, durant des années ils ont négligé ce problème. Dans la mesure où, à l'époque, il était difficile de se rendre réellement compte des risques environnementaux, car les produits électroniques étaient chers et donc ne faisaient pas partie des systèmes de production de masse. Or depuis quelques années on assiste à une baisse des prix des différents composants et en conséquence une large dissémination de ces derniers. De plus, sous l'effet de la diminution des prix, le consommateur consomme plus et plus souvent. Ce mode de fonctionnement a des répercussions catastrophique sur l'environnement, car le consommateur va « plus jeter » et plus souvent.

De même, que le bilan environnemental du processus de fabrication doit aussi tenir compte des méthodes de fabrication et des produits utilisés. Il ne faut donc pas se limiter à la toxicité des produits utilisés dans les composants informatiques, pour décider si un produit limite l'impact écologique ou pas.

3.2.2 Livraison

Le processus de livraison n'est pas nécessairement le processus qui a le plus d'importance dans le cycle de vie du composant, néanmoins ce dernier a un fort impact sur l'environnement. En effet, tant les moyens qui sont utilisés pour transporter les composants chez les clients, que les matériaux qui servent pour les emballer lors du transport représentent un danger pour l'environnement.

Pendant longtemps, à cause d'un carburant peu cher, les constructeurs n'hésitaient pas à faire voyager les composants d'un continent à un autre, afin de s'assurer que ces derniers soient fabriqués dans des pays où les coûts de production étaient les

moins élevés. Du point de vue économique, ce mode de fonctionnement était justifié. Néanmoins, ceci est contradictoire du point de vue du développement durable, car on ne cherche qu'à produire à moindre prix (on exploite la main d'œuvre locale pour avoir des prix attractifs) et on déplace les composants d'un continent à un autre, en ne se souciant que de l'aspect économique.

Une solution adoptée aujourd'hui est l'utilisation de plates formes collaboratives de distribution (appelées centres de consolidation et de collaboration CCC). Les CCC utilisent un outil de gestion mutualisé des approvisionnements, afin d'optimiser le circuit de remplissage des camions et ne plus avoir des camions qui roulent aux trois quarts vides.

Selon une étude menée par l'OCDE¹⁷, le transport de marchandises en ville représente 25% du trafic, 35% des émissions de CO2 et 50% de la consommation de carburant. En moyenne, il y a un taux de remplissage de 35% dans chaque camion. C'est la raison pour laquelle il faut mettre en place une gestion performante qui permette de soutenir la chaîne logistique.

3.2.3 Exploitation

Le processus d'exploitation est essentiellement caractérisé par les besoins énergétiques du composant. Si l'impact environnemental est correctement pris en compte au moment de la conception du composant, le composant aura sans doute des besoins énergétiques moindres. De même le comportement des utilisateurs aura des conséquences sur l'exploitation. Nous reviendrons plus tard dans ce travail sur cet aspect et sur les différents moyens à mettre en œuvre pour limiter la consommation électrique.

3.2.4 Recyclage

C'est une étape complexe du cycle de vie des composants. En effet, comme nous l'avons déjà développé lors de l'étape de fabrication, si la problématique environnementale a été correctement intégrée au développement du produit, alors le processus de recyclage en sera simplifié.

¹⁷ http://www.observateurocde.org/news/fullstory.php/aid/535/Lasphyxie_des_transports.html

3.2.5 Conclusion de l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie d'un produit va permettre d'obtenir des données extrêmement précieuses pour améliorer les divers processus et les rendre aussi écologiques que possible.

3.3 Quid des logiciels

Dans la section précédente, nous nous sommes concentrés essentiellement sur les composants électroniques du matériel informatique. Dans une certaine mesure, ce sont ceux qui ont les impacts les plus préjudiciables sur l'environnement. Pouvons-nous appliquer le même raisonnement aux logiciels ? Cette question est à première vue étonnante, car un logiciel ne produit pas de substances chimiques hautement toxiques comme un composant électronique. En effet, un logiciel est issu d'un processus de développement, qui se matérialise par une succession de lignes de code qui seront interprétées par l'ordinateur. Il n'y a donc très clairement pas d'intervention de produits toxiques dans les logiciels.

Au niveau de la fabrication, on peut diminuer l'impact écologique en utilisant des machines qui soient éco-compatibles, de telle manière à utiliser moins d'énergie et des composants qui soient propres.

Pour la livraison, l'éditeur pourrait par exemple mettre au point, des méthodes de livraison mutualisées avec d'autres éditeurs, afin de limiter le trafic généré par ces derniers et s'assurer que les livraisons ne s'effectuent pas dans des transporteurs à moitié vides. Il pourrait également, mettre en place des plates-formes de téléchargement, de telle manière qu'on limite l'utilisation d'emballages pour les logiciels à son strict minimum. Une solution serait, par exemple, de proposer un prix qui soit nettement moins cher lorsque l'acheteur acquiert le logiciel sur internet, plutôt que de se rendre dans un magasin pour l'acheter.

Au niveau de l'exploitation, dépendant des algorithmes utilisés, ces derniers pourront avoir un impact direct sur la consommation d'énergie de l'ordinateur.

Ainsi, au moment du développement, on peut implémenter un code où l'on va réduire les accès « disque » ou encore, tirer parti des technologies multi-cœurs et donc exécuter les instructions de façon parallèle et non plus séquentielle¹⁸.

¹⁸ <http://www.01informatique.fr/Archives/Les-logiciels-seront-ils-un-jour-ecologiques/>

4. Les labels écologiques et autres législations

L'objectif de cette section est de présenter au lecteur divers labels écologiques, ainsi que diverses réglementations en vigueur. Chacun d'entre eux prend en compte au moins une problématique écologique. Diverses certifications et réglementations seront présentées, avant d'en faire une critique succincte.

Avant de rentrer plus en détail, il convient d'éclaircir un point essentiel pour la bonne compréhension de ce qui va suivre. Les directives européennes sont des actes normatifs décidés par les institutions européennes. Ces derniers ne sont pas des règlements qui vont s'appliquer de façon directe dans les pays concernés, mais ils donnent une série d'objectifs à atteindre aux pays membres avec un certain délai. Il en va alors de la responsabilité du pays membre de l'union d'adapter une directive à sa législation. Au contraire d'une directive, un règlement communautaire est directement applicable sans aucune mesure pour l'adapter à sa législation.

4.1 Les certifications

4.1.1 Haute Qualité Environnementale (HQE)

HQE n'est pas un label officiel à proprement parlé, mais est un concept environnemental qui donne lieu à des certifications délivrées par l'association HQE depuis 2004.

HQE ne représente donc pas une norme, mais un ensemble d'objectifs à atteindre au moment de la conception ou de la rénovation de bâtiments. L'objectif est de limiter au maximum les impacts environnementaux.

D'une manière générale les éco-quartiers sont constitués d'un ensemble de bâtiments à conception HQE.

Cette certification n'a donc à priori pas de lien direct avec la problématique environnementale engendrée par les SII. Si ce n'est qu'une telle certification permet, au moment de la construction d'usines de fabrication de composants électroniques ou même de « data centers », de prendre en compte les impacts environnementaux, de manière à concevoir des « green buildings ».

4.1.2 Energy Star

Le label Energy Star a pour objectif de promouvoir l'efficacité énergétique des appareils électriques. C'est l'agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA) qui permet aux constructeurs de valider l'efficacité énergétique des produits des

constructeurs. Pour être homologué, le produit doit fonctionner en-dessous d'un certain seuil de consommation électrique.

Prenons l'exemple des serveurs : pour être labélisé chaque composant d'un serveur reçoit une quantité de watts à ne pas dépasser. Ces valeurs sont fixées par l'EPA. Par exemple, un serveur à double processeur muni de 4 gigas de RAM, d'un disque dur, de deux ports GE et d'une alimentation ne devra pas excéder 150Watts pour être labélisé. Pour des composants supplémentaires, l'EPA augmente cette limite de base de 2Watts pour un giga de RAM supplémentaire, ou de 8 Watts supplémentaires pour un disque dur additionnel.

Ce label se concentre donc exclusivement sur la consommation d'énergie des appareils électroniques. Chacun des appareils se voit attribuer un seuil de consommation à ne pas dépasser, sans quoi il ne sera pas labélisé Energy Star. Ainsi, les contraintes liées à la consommation des appareils électroniques pourraient conduire les constructeurs à réduire des composants additionnels (disques durs ou des connecteurs supplémentaires,..) et par conséquent ne pas travailler à fournir des architectures qui soient plus efficaces énergiquement.

4.1.3 Epeat

Epeat (Electronic Product Environmental Assessment Tool) a été créé aux Etats-Unis par le Green Electronic Council (GEC). Epeat est un programme proposant un outil qui permet aux entreprises d'évaluer et de comparer du matériel informatique en fonction de leurs caractéristiques écologiques. Epeat va couvrir autant les aspects relatifs à la consommation électrique des appareils, que de l'éco-conception.

Epeat met à disposition une base de données qui contient des produits qui auront été déclarés conformes par les fabricants en se basant sur la norme IEE 1680-2006. Epeat se basera sur 51 critères pour évaluer le matériel (23 critères obligatoires et 28 optionnels). Ces critères sont répartis dans 8 catégories :

- Réduction/élimination des substances dangereuses
- Choix de composants respectant l'environnement
- Prise en compte de la fin de vie du matériel dès la conception
- Durabilité du matériel
- Réduction de la consommation électrique
- Recyclage
- Implication de l'entreprise dans une démarche de développement durable

- Emballage

Epeat proposera 3 labels différents aux fabricants :

- Gold : si au moins 75% des critères sont remplis
- Silver : si 50% des critères sont remplis
- Bronze : si les 23 critères obligatoires sont remplis

Aujourd'hui, plus de 1'168 produits sont certifiés Epeat et plusieurs entreprises telles que : Apple, Dell, Fujitsu, HP, Nec, Lenovo ou encre Philips, participent à ce programme.

Le fait que ce label soit suivi par les plus grandes entreprises du domaine des TICs montre tout le sérieux de ce dernier. De plus, ce label n'agit pas seulement sur un seul stade du cycle de vie du composant, mais sur son entièreté.

Néanmoins, on peut regretter le fait que pour atteindre un de ces trois niveaux de certifications, les fabricants doivent satisfaire à un certain nombre de critères. D'ailleurs pourquoi donner un label Gold à un produit qui ne remplit que 75% des critères ? Car en fin de compte, on peut imaginer qu'un composant qui remplit tous les critères sauf ceux des produits dangereux, pourrait prétendre à la distinction maximale. Ainsi, le danger avec cette politique, est que les fabricants essayent de trouver des solutions dans des domaines qui leur coûtent peu, puisqu'avec Epeat ils n'ont pas besoin de satisfaire tous les critères pour être certifiés. Ainsi, ils pourraient ne pas développer des technologies propres qui s'avèreraient être plus coûteuses que celles présentement en service.

4.1.4 80 PLUS

80 Plus est un programme qui vise à augmenter l'efficacité énergétique des alimentations électriques du matériel électrique. Aujourd'hui, l'efficacité énergétique des alimentations des PC ne dépasse pas 60%, ce qui est très mauvais. Cela signifie que 40% de l'énergie consommée par un PC part immédiatement en chauffage et ne sert donc pas au fonctionnement de la machine.

Ainsi, pour qu'un appareil soit certifié 80plus, l'alimentation du PC doit délivrer une efficacité d'au minimum 80%.

Des solutions technologiques existent pour atteindre des rendements de 80% ou supérieurs.

Ce label s'attaque donc à un problème très précis qui est l'efficacité énergétique : on cherche à obtenir le moins de pertes possibles. On peut imaginer que les améliorations qui auront été faites dans la conception d'alimentations plus efficaces, pourront à terme être transposées à d'autres composants, afin de diminuer toutes les pertes de chaleur.

4.1.5 GREENGUARD

Greenguard Environmental Institute est une organisation indépendante et sans profit qui décerne des certifications quant à la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. Cette organisation est réputée pour avoir de hautes exigences vis-à-vis de ses commanditaires.

La certification Greenguard va étudier les émissions des équipements informatiques dans les bâtiments. L'objectif de cette certification est de détecter la présence de plus de 2'000 types d'émissions chimiques cancérigènes, allergènes et irritantes pouvant être présentes dans les ordinateurs vendus dans le commerce.

Cette certification s'attaque à un problème peu connu, mais très important pour la santé des utilisateurs. En effet, à force de vouloir colorer les coques de protection ou d'utiliser des protections ignifuges sur les ordinateurs, personne ne sait et ne mesure les conséquences sur la santé de l'homme.

4.1.6 TCO

Initialement TCO était une certification destinée pour les écrans d'ordinateurs. Elle devait permettre de distinguer les écrans qui prenaient en compte l'impact environnemental. Aujourd'hui, cette certification ne se limite plus aux écrans d'ordinateurs, mais englobe d'autres périphériques tels que les claviers, les ordinateurs, les téléphones mobiles ainsi que les imprimantes.

Les certifications sont délivrées par la compagnie TCO Development et la première certification de ce type a vu le jour en 1992 ; elle définissait un standard pour les émissions des écrans d'ordinateurs. Chaque certification est identifiée par son année de mise en service.

Depuis peu, cette certification a évolué et s'intéresse également au cycle de vie des appareils informatiques. Les critères utilisés, aujourd'hui, par TCO sont :

- Ergonomie du matériel
- L'émission de champs électromagnétiques

- La consommation d'énergie
- Le faible bruit
- La certification ISO 14001 du fabricant
- Le respect de la directive RoHS
- La « recyclabilité » des matériaux

L'évolution de ce label est intéressante, dans la mesure où il a su évoluer et s'adapter aux nouvelles contraintes écologiques, ainsi qu'au nouveau matériel disponible. On est donc passé d'une certification qui était destinée spécifiquement aux écrans et à leur consommation, à un label qui englobe serveurs, imprimantes, écrans, PC et téléphones mobiles et à leur cycle de vie.

4.1.7 ISO – 14001

La norme ISO 14001 provient de la série des normes 1400. Cette série de normes concerne le management environnemental.

L'objectif du management environnemental est d'améliorer la performance environnementale d'une entreprise, tout en maintenant sa productivité.

ISO 14001 est la référence de base pour la certification, elle représente 18 exigences réparties en 6 chapitres :

- Exigences générales
- Politique environnementale (Objectifs dans le domaine de l'entreprise)
- La planification
- La mise en œuvre (de la planification de la politique environnementale)
- Les contrôles et actions correctives
- La revue de direction

Etant donné que c'est une norme ISO, elle doit être générique, afin que l'on puisse l'appliquer à n'importe quelle entreprise. La conséquence d'une norme générique est que l'on ne définit pas d'exigences absolues à atteindre en matière de performance environnementale (au contraire d'un label). Néanmoins, cette norme ISO va forcer les entreprises (qui souhaitent sa mise en place) à se mettre en conformité avec les diverses législations et réglementations applicables. La certification se déroule par cycles de trois ans.

4.1.8 Blue Angel

Blue Angel est un label écologique provenant d'Allemagne. Ce label a la particularité d'être le tout premier ecolabel. Depuis 1977 il certifie des produits de divers domaines, autant dans celui de l'industrie automobile que celui des TICs, selon un cahier des charges des exigences environnementales à atteindre. Blue Angel prend en compte la totalité du cycle de vie du produit.

4.2 Les réglementions

4.2.1 REACH

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction Chemicals) est un règlement applicable au sein de la communauté européenne. Il vise à mieux protéger la santé humaine et l'environnement vis-à-vis de matériaux chimiques utilisés dans la fabrication de certains biens de consommation.

Cette réglementation contraint les entreprises (fabricants, importateurs, entreprises de transformation) à enregistrer et à évaluer leurs substances chimiques.

4.2.2 RoHS

RoHS signifie Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment (RoHS). Cette directive européenne vise donc à limiter l'utilisation de substances dangereuses.

Cette directive décrit de manière univoque quelles sont les substances à ne pas utiliser :

- Plomb
- Mercure
- Cadmium
- le chrome hexavalent ;
- les polybromobiphényles (PBB) ;
- les polybromodiphényléthers (PBDE).

Les concentrations maximales de ces substances sont de 0.1% par unité de poids, excepté pour le cadmium ou la concentration maximale autorisée est de 0.01%.

Cette directive s'applique à toutes les catégories de produits définis par la directive DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques) et elle s'applique aux produits importés et fabriqués dans les pays de l'union européenne.

La directive RoHS est rentrée en vigueur le 1^{er} juillet 2006.

Cette directive aura un impact direct lors de la phase de fabrication des composants. Elle va contraindre les constructeurs à utiliser d'autres matériaux que ceux interdits. De ce fait, elle aura des répercussions au moment de la phase de recyclage, puisque les composants ne contiendront pas ces substances toxiques.

4.2.3 Energy-using products (EUP)

C'est une directive de l'union européenne visant à réduire la consommation électrique des appareils ; cet objectif peut être atteint si les appareils électroniques sont développés en appliquant les principes d'éco-conception. Cette directive est entrée en vigueur en janvier 2008.

Cette directive va plus loin que de simplement imposer aux fabricants des produits peu gourmands en énergie ; elle vise l'ensemble du cycle de vie du produit : de sa conception jusqu'à l'étape de recyclage. Certes, la mise en place de cette directive représente un coût pour les entreprises, puisque elles doivent mettre en œuvre des moyens pour évaluer le coût énergétique de leurs appareils. Ainsi, et de façon indirecte, cette réglementation vise à améliorer les processus de fabrication et à les rendre aussi « green » que possible.

4.2.4 Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

C'est une directive européenne qui vise à rendre obligatoire la valorisation des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) et ainsi responsabiliser les fabricants. L'objectif est de ne plus laisser le matériel électronique à l'abandon dans des décharges, mais d'en recycler les différents composants ou d'appliquer le principe des « recycleries ». Ceci consiste à remettre en état un équipement, c'est-à-dire de réparer et de nettoyer le produit, afin de pouvoir le remettre sur le marché à des prix moins élevés.

Cette directive est extrêmement importante, puisqu'elle doit faire en sorte que les déchets soient recyclés ou remis sur le marché. Elle doit permettre d'éviter que les fabricants envoient leurs déchets dans certains pays non-industrialisés ou en voie d'industrialisation pour les stocker dans des décharges. Car ces décharges à l'air libre sont une vraie catastrophe pour les populations environnantes tant au niveau des risques liés à la pollution des écosystèmes, que des risques sanitaires. La conséquence de la mise en place de cette directive est l'ajout d'une taxe de recyclage sur chaque appareil électronique vendu (contenu dans la liste des appareils concernés par la directive DEEE).

5. Exposé des solutions écologiques mises en place par les différents acteurs du domaine des technologies

Cette seconde partie met en exergue les différents efforts fournis par les constructeurs du marché des technologies de l'information et de la communication (TICs). Avant de passer en revue les différentes solutions développées par ces derniers, il paraît judicieux d'analyser les raisons qui les poussent à se lancer dans ce nouveau marché des éco-composants.

La première raison est sans doute l'urgence de la situation. En effet, comme décrit en préambule de ce travail, on ne peut clairement plus continuer à produire des composants sans prendre en compte leurs impacts écologiques. Ce temps est révolu. Il y a donc une prise de conscience de la part des différents acteurs des domaines technologiques sur les impacts écologiques de leurs produits dans notre société. Par conséquent, ces derniers vont travailler en intégrant la problématique écologique dans le développement de nouveaux produits, de telle manière à offrir des choix qui soient éco-compatibles.

Néanmoins, il serait extrêmement naïf de penser que les différents acteurs du marché de l'informatique se soient découvert une fibre écologique sans arrières pensées. L'écologie représente une part de marché de plus en plus importante pour les acteurs des TICs, car c'est l'opportunité d'attirer de nouveaux consommateurs à l'aide d'un marketing orienté sur l'écologie. Comme nous le verrons plus tard, cette implication soudaine des entreprises du domaine des TICs, s'observe en consultant l'évolution de l'étude menée par Greenpeace dans le domaine technologique (section 5.1).

Mise à part les aspects marketing et la vision à long terme, on peut également penser que face à la prise de conscience collective et l'urgence de la situation, les gouvernements vont imposer de nouvelles législations (comme c'est le cas avec les diverses directives européennes) aux différents acteurs des TICs. Afin de ne pas être pris au dépourvu, ces derniers font preuve d'anticipation, en améliorant leur processus de fabrication et en développant de nouveaux composants écologiques. De ce fait, l'écologie se retrouve au cœur de la stratégie des entreprises dans le domaine des TICs.

5.1 Le guide de « l'électronique green »

Depuis août 2006, Greenpeace mène une étude sur la « propreté » des entreprises dans le domaine des TICs. Cette étude inclut aussi bien les leaders en matière de fabrication de matériel informatique (Dell, Apple, ..) que ceux du marché des consoles de jeux vidéo (Nintendo, Sony). C'est en tout 17 entreprises qui sont concernées. Cette étude se base sur plusieurs critères (qui ont évolués depuis la toute première étude) dont cinq d'entre eux qui se basent sur l'efficacité énergétique de la fabrication des produits et des produits eux-mêmes. D'autres critères se focalisent sur la quantité de plastique recyclé utilisé ou encore la définition d'un calendrier pour l'élimination des substances toxiques. Finalement, en fonction des critères qu'elles auront remplis, les entreprises se voient attribuer une note entre 0 et 10, ou 10 est la meilleure note.

L'objectif de ce guide est de s'assurer que le secteur des composants électroniques n'utilise plus de matériaux qui soient toxiques et que les fabricants prennent en compte l'impact écologique sur le cycle de vie de leurs produits.

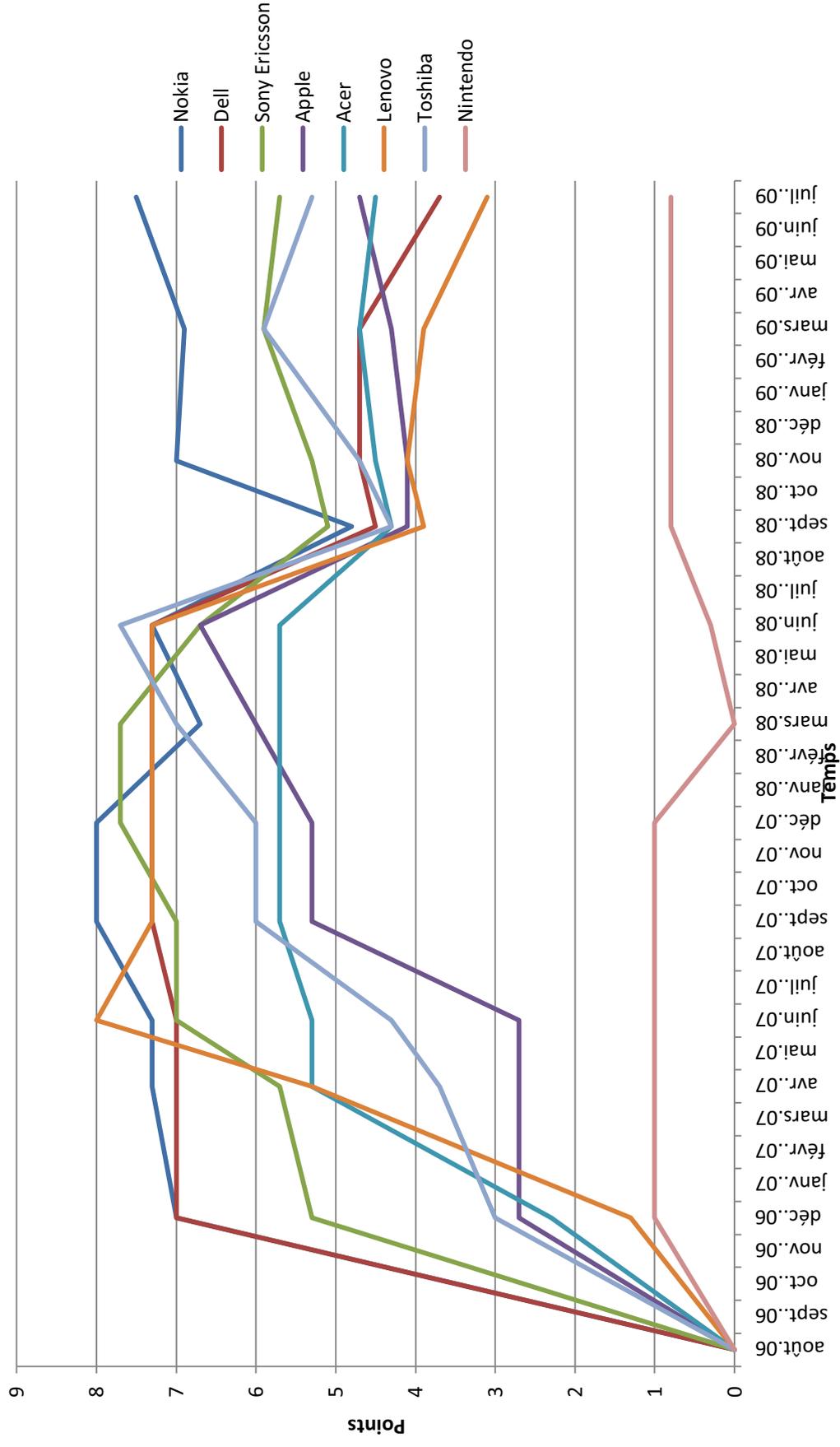
Voyons plus en détail l'évolution du classement des entreprises dans l'ordre des moins polluantes (annexe 2) aux plus polluantes.

En utilisant les données présentes dans le guide de l'électronique de Greenpeace, j'ai tracé un graphique (page 29) afin de pouvoir constater l'évolution des différentes entreprises du domaine des technologies de l'information et de la communication (TICs). J'ai restreint le nombre d'entreprises essentiellement aux fabricants d'ordinateurs (avec deux exceptions pour Sony-Ericsson et Nintendo).

L'objectif de ce graphique est de montrer l'évolution de l'implication écologique au cours de ces trois dernières années, puisque le premier guide pour une électronique plus verte a été édité au moins d'août 2006.

Attention ! Comme je l'ai précisé en préambule de cette section, les méthodes d'évaluation ont évolué au cours des années, par conséquent le suivi de l'évolution du classement des entreprises est quelque peu biaisé. Ainsi, il ne faut pas analyser ce graphique comme étant une mesure des objectifs à atteindre pour les entreprises qui prennent en compte l'écologie, mais l'évolution de l'implication dans l'écologie des entreprises technologiques.

Evolution du classement Greenpeace



Ce graphique (page 29) nous permet donc de tirer plusieurs conclusions intéressantes. Dans un premier temps, on observe que Nokia est l'entreprise qui a été la mieux notée sur l'ensemble de ces rapports. Ceci n'est pas une surprise, car l'Europe du nord est reconnue pour son engagement très fort vis-à-vis du développement durable et donc de l'écologie. Il n'est ainsi pas surprenant de retrouver Nokia et Sony-Erickson parmi les entreprises les mieux notées.

A l'opposé, on observe que l'écologie n'est pas au centre des préoccupations de Nintendo et qu'elle n'a fait aucun effort d'éco-conception durant ces trois dernières années. Plusieurs éléments peuvent expliquer ce comportement. Dans un premier temps Nintendo est positionné dans un marché où l'écologie n'est absolument pas un facteur de démarcation vis-à-vis de ses concurrents. En effet, le public à qui Nintendo destine ses produits n'est pas regardant sur la problématique écologique. Un autre élément est sans doute l'implication culturelle. Nintendo est une entreprise japonaise et comme nous l'avons vu au préalable (Figure 1, page 2), les entreprises asiatiques investissent moins dans le « Green IT » que les entreprises occidentales.

De même, on observe que Dell a toujours été bien notée, jusqu'au jour où cette entreprise n'a fait que reculer dans ce classement. Ce résultat est surprenant dans la mesure où comme nous le verrons par la suite, Dell investit beaucoup d'argent et d'énergie dans le développement écologique et ce à travers divers programmes. Or, il semble que ces efforts ne soient pas suffisants pour les évaluateurs de Greenpeace. On observe notamment que depuis que le système d'évaluation a évolué, Dell fait partie des entreprises qui n'ont cessé de reculer. Ainsi, on peut faire l'hypothèse que Dell n'avait pas intégré la problématique écologique dans certains domaines, comme par exemple, dans celui des produits toxiques utilisés. Malgré une réelle implication dans la cause écologique à travers diverses actions, ces dernières n'ont pas permis de contrebalancer certains manquements.

Finalement, ce classement montre que les entreprises (à l'exception de Nintendo) se sont engagées dans la cause écologique. D'une manière générale, ce classement est positif, car il nous indique l'orientation que prennent les acteurs des TICs et cette implication devrait se traduire, dans les années à venir, par de nouveaux produits conçus en respectant l'écologie.

5.2 Quelles solutions proposées par les constructeurs ?

Après une première introduction à la problématique de l'écologie dans le domaine TICs, intéressons-nous concrètement aux solutions proposées par les différents acteurs du marché de l'informatique. Cette section n'a pas pour objectif de refaire le travail réalisé par Greenpeace dans son étude, mais de présenter et d'analyser les programmes écologiques d'un panel d'entreprises sélectionnées dans le domaine des TICs.

L'objectif est de se mettre à la place d'un acheteur quelconque qui souhaite acquérir un produit technologique qui soit aussi écologique que possible ou qui souhaiterait connaître l'implication écologique d'une entreprise.

Chacun des documents sera analysé en se posant les questions suivantes:

- L'entreprise communique-t-elle sur ses actions écologiques ?
- L'entreprise fait-elle des efforts en matière de consommation d'énergie ?
- L'entreprise communique-t-elle des informations sur la non-utilisation de produits toxiques ?
- L'entreprise prend-t-elle en compte le cycle de vie de son produit ?
- L'entreprise a-t-elle un programme de réduction des GES ?

Je vais donc faire une analyse globale de l'existence ou non d'une stratégie écologique au sein de l'entreprise. L'objectif n'est pas de faire une liste des divers produits écologiques que des entreprises proposent, mais d'observer le comportement des leaders du marché des TICs par rapport à la problématique écologique.

Par la suite, nous analyserons plus en détail les composants que proposent plusieurs constructeurs et nous essayerons de déterminer si ces derniers sont aussi écologiques que ce qu'ils annoncent.

5.3 Les éco-Entreprises

5.3.1 DELL

DELL est le deuxième fabricant d'ordinateurs au monde. Il ne fabrique pas seulement des ordinateurs, mais également des serveurs et divers périphériques pour ses machines (imprimantes, écrans,..). DELL fût créé en 1984 et, en 1997, a commencé à intégrer le développement durable dans son système de management.

En 2007, DELL a lancé une initiative visant à long terme le « Zéro carbone ». Pour atteindre cet objectif, l'entreprise s'est engagée, dans un premier temps, à réduire d'ici 2012 de 15% les rejets de carbone liés à ses activités.

DELL a également lancé une action écologique intitulée « Plant a Tree for Me ». Ce programme consiste à prélever une taxe sur chaque machine vendue (environ CHF 2.80 sur un portable et environ CHF 8.- sur un ordinateur de bureau). Les fonds récoltés serviront à planter de nouveaux arbres et ainsi à compenser les émissions de CO₂ associées à la consommation des ordinateurs vendus.

DELL a donc très vite compris que d'intégrer la cause écologique à ses composants serait une manière de se différencier face à ses concurrents. De plus, afin de sensibiliser les utilisateurs au cœur de sa problématique écologique, Dell a ouvert un blog se nommant IdeaStrom¹⁹, que l'on pourrait traduire par : « tempête d'idées ». Ce blog contient une section dédiée spécialement à l'environnement. Dans cette section les utilisateurs sont amenés à partager leur expérience avec le matériel DELL et aider le fabricant à améliorer son approche environnementale. On trouve, par exemple, une discussion relative au packaging DELL lors de la réception d'un nouveau produit. Un acheteur soulève le fait que les cartons d'emballages sont trop grands et qu'ils contiennent des particules de polystyrène. Grâce à ce support, les acheteurs vont soumettre leurs remarques qui pourront donner naissance à de nouveaux concepts.

Néanmoins, comme nous l'avons vu dans le classement de Greenpeace, et malgré toutes les initiatives citées précédemment, DELL n'a pas encore trouvé la solution pour éliminer définitivement les substances toxiques de ses produits.

A l'heure actuelle on ne trouve pas d'informations relatives aux émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité de Dell. De même, il n'existe pas de chiffres sur l'analyse du cycle de vie des produits (AVC) DELL. Au niveau de l'AVC, DELL se concentre essentiellement sur les étapes d'utilisation et de recyclage.

On peut supposer que DELL a encore de très grandes quantités de matériaux recouverts de substances toxiques et qu'elle préfère éliminer ses anciens stocks avant de proposer de nouveaux matériaux écologiques.

¹⁹ <http://www.ideastorm.com/ideaList?lsi=0&cat=Environment>

Cependant, l'entreprise a imposé à ses fournisseurs en Asie qu'ils soient certifiés ISO – 14001. DELL s'approvisionne auprès de plus de 100 fournisseurs. En 2008, ils étaient 17 à avoir été certifiés et ils seront plus de 80 en 2009.

5.3.2 Apple

Apple est fabricant d'ordinateurs et concurrent des ordinateurs dits « PC » (Personal Computer). Il a fondé son succès suite à la commercialisation de l'ordinateur personnel d'Apple II en 1977 puis grâce au lancement de son nouvel ordinateur, le Macintosh en 1984. Par la suite, Apple a su diversifier ses activités, avec un certain succès, en produisant toute une gamme de lecteur MP3 (iPod) et plus récemment des téléphones portables.

Apple n'a pas toujours été une entreprise qui s'est impliquée dans la cause environnementale. En effet, elle n'a jamais mis au point une stratégie de réduction des impacts environnementaux. Ceci lui a notamment valu d'être nommée deux fois, entre 2006 et 2007, à la dernière place des entreprises les plus écologiques. Il a été reproché à Apple une mauvaise gestion des déchets, très peu de recyclage des produits obsolètes et l'utilisation de composants polluants dans ses produits.

Depuis 2007, Apple s'est très clairement engagée en faveur de l'écologie. Ainsi, la grande majorité des produits fabriqués est en conformité avec plusieurs critères écologiques. C'est notamment le cas pour sa dernière gamme d'ordinateurs pour laquelle le constructeur souligne le fait que cette dernière atteint des niveaux d'excellences sur la gestion environnementale. Cette gamme a été conçue avec les caractéristiques suivantes :

- Mention Gold de l' Epeat.
- Satisfait aux exigences ENERGY STAR
- Coque entièrement recyclable.
- Elimination de plusieurs matériaux toxiques tant dans les circuits électroniques que dans la coque.

Apple a même poussé son action environnementale plus loin encore, puisque les cartons d'emballages sont près de 40% plus petits que ceux des séries précédentes. Une telle modification n'aura pas que des impacts sur la quantité de carton utilisée pour les emballages, mais aussi au moment du transport. En effet, avec des cartons plus petits, on peut transporter plus de produits d'un coup et ainsi c'est moins d'émissions de CO2 qui seront rejetées.

5.3.3 Google

Google est une entreprise qui prend très au sérieux la problématique environnementale. Il est intéressant de constater que les initiatives de Google ne se limitent pas seulement à son domaine d'activité. Google offre des primes à ses employés (jusqu'à CHF 3500.-) pour l'acquisition d'un véhicule hybride. Google met également à disposition de ses employés des vélos, si ces derniers en ont le besoin. En 2007, Google a investi plusieurs dizaines de millions de dollars dans divers projets qui avaient pour but le développement des technologies écologiques.

Google mise également sur les énergies renouvelables et s'est doté de 9'000 panneaux solaires, afin d'alimenter une partie de son siège de Mountain View en Californie. Cette installation va permettre d'alimenter 30% des locaux de Google.

Un des projets les plus importants pour Google est sans doute l'objectif de réduire son empreinte carbone et surtout de devenir neutre en carbone. Pour atteindre cet objectif, Google, a dans un premier temps, calculé son empreinte carbone puis acheté de grandes quantités de compensation de carbone de haute qualité. Ainsi, à travers ce processus Google a réussi à neutraliser ses émissions de CO2 pour les années 2007 et 2008. Aujourd'hui Google investit dans les projets qui permettent de compenser ses émissions de CO2.

Google a conscience que la solution idéale pour réduire son empreinte carbonique serait de ne pas utiliser d'énergie, ce qui serait bien évidemment utopique. Cependant, au lieu de chercher des moyens pour fournir encore plus d'énergie pour permettre de faire fonctionner ses services, Google travaille activement sur l'architecture de ses bâtiments et de ses systèmes informatiques. L'objectif est de pouvoir construire des « data centers » qui soient énergiquement aussi efficaces que possible et de les équiper de serveurs qui consomment le moins possible. Finalement le souhait de Google est de réussir à limiter sa dépendance en énergie tout en maintenant l'excellence des divers services proposés. Durant ces cinq dernières années, cette politique écologique a permis à Google de réduire de moitié ses émissions de CO2, par rapport à ce qu'elle aurait émis si aucune action écologique n'avait été appliquée²⁰.

5.3.4 Les fabricants de Processeurs (AMD, Intel)

Suite à l'entrée en vigueur de la directive européenne ROHS, les constructeurs de processeurs ont dû se résoudre à revoir la composition de leurs produits. En effet,

²⁰ <http://googleblog.blogspot.com/2009/05/reducing-our-carbon-footprint.html>

ROHS préconise une réduction drastique des substances toxiques dans les produits fabriqués. En l'occurrence, les processeurs étaient constitués en très grande partie de plomb. Il a donc fallu que les constructeurs AMD et Intel s'adaptent à ces nouvelles exigences, tout en garantissant des performances équivalentes.

5.3.4.1 Intel

Ainsi depuis 2007, pour se mettre en conformité avec la législation ROHS, Intel a arrêté d'inclure du plomb dans la fabrication des processeurs et a travaillé à la mise au point de nouveaux alliages pour remplacer le plomb. Ce constructeur travaille aussi sur les futurs processeurs et met tout en œuvre pour offrir des processeurs qui consommeront moins d'énergie.

Intel ne travaille pas seulement à l'amélioration écologique des ses produits, mais aussi à ses méthodes de fabrication. Par ailleurs, depuis 2007, Intel a revu ses processus de fabrication et a ainsi pu économiser plusieurs centaines de millions de mètres cubes d'eau.

Comme beaucoup d'entreprises du domaine des TICs, Intel travaille avec beaucoup de fournisseurs dans le monde entier et met tout en œuvre pour les convertir à une production verte.

Intel a également mis en œuvre un programme visant à réduire ses émissions de CO₂ d'au moins 20% sur la période 2007-2012.

5.3.4.2 AMD

Tout comme Intel, AMD a dû retirer le plomb de ses processeurs. Mais l'action écologique d'AMD ne se restreint pas seulement à ce point. L'importance d'offrir de nouvelles solutions architecturales plus efficaces et des performances toujours accrues sont les principaux angles de recherche que mène AMD.

L'entreprise AMD a également démarré un programme de réduction de ses émissions de GES. Elle s'est fixé l'objectif de réduire de 33% ses GES par rapport à ses émissions de 2006. Pour atteindre cet objectif, AMD compte réduire de 40% sa consommation d'énergie sur la même période.

C'est donc dans l'ensemble des départements de l'entreprise qu'il faudra faire des efforts. Ainsi, AMD travaille activement à l'optimisation de sa chaîne d'approvisionnement (supply chain). Dans un premier temps, AMD vise la réduction des émissions indirectes (voyages des employés, transport de marchandises,..) liées à l'activité de l'entreprise. Ces dernières représentent environ 17% des émissions totales de l'entreprise.

5.3.5 IBM

IBM est une société américaine qui durant de longues années a eu pour activité première la conception et la commercialisation de matériel informatique. IBM a peu à peu, abandonné son activité initiale pour se concentrer essentiellement dans le domaine des services informatiques et des logiciels.

L'écologie représente une part non négligeable des investissements d'IBM. En 2007, IBM investit 1 milliard de dollars dans l'écologie et lance le projet « Project Big Green ». Ce projet a pour but de repenser l'architecture des « data centers » afin de réduire les besoins énergétiques. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les coûts engendrés par la consommation d'énergie sont astronomiques et ne cessent de croître. IBM a parfaitement identifié le fait que ces coûts ont des répercussions sur l'ensemble des entreprises avec lesquelles elle traite. De plus, ces coûts pénalisent la croissance de leurs clients.

L'objectif d'IBM est donc de proposer des plans d'actions écologiques à ses clients, de telle façon que ces derniers puissent limiter les coûts liés à la facture énergétique et qu'ils puissent accroître leur productivité.

Le « Project Big Green » devrait permettre des économies allant jusqu'à 40%. Pour atteindre un tel objectif, ce programme se base sur cinq axes :

- Diagnostic des installations à l'aide de logiciels de modélisation des flux thermiques
- Conception de modèles de « data centers » efficaces
- Virtualisation
- Gestion logicielle de la puissance en fonction de la charge réelle
- Développement de solutions de refroidissements

Nous reviendrons par la suite sur certains concepts énoncés ci-dessus afin qu'IBM atteigne ses objectifs de réduction d'énergie.

Afin de convaincre ses clients du bien fondé de son processus de réduction des coûts, IBM va dans un premier temps appliquer son programme à elle-même. L'objectif est de pouvoir doubler la puissance de ses « data centers » dans les trois ans, tout en maintenant son niveau de consommation électrique. Ce projet devant se finaliser fin 2010, nous ne pouvons pas encore juger des résultats.

Néanmoins, à une autre échelle, IBM a appliqué certaines caractéristiques de ce programme dans le cadre du tournoi de tennis Roland-Garros 2009. L'architecture repose sur la virtualisation. La virtualisation permet de faire fonctionner plusieurs systèmes d'exploitation sur un seul serveur. Ainsi, on réduit le nombre de serveurs

dont on a besoin. Dans le cadre de Roland Garros 2009, IBM a pu réduire le nombre de serveurs de neuf à six, tout en assurant un service répondant aux besoins des organisateurs du tournoi.

5.3.6 Microsoft

Microsoft, dont l'activité principale est le développement de systèmes d'exploitation ainsi que de logiciels, est actif dans le domaine du développement durable. Il a notamment mis en place des programmes d'aide pour permettre aux pays africains de se doter de matériels informatiques, afin de pouvoir continuer leur croissance et ainsi se positionner sur de nouveaux marchés. Dans ces programmes en collaboration avec les Nations Unies, la problématique écologique a été parfaitement intégrée. L'objectif est de pouvoir récupérer du « vieux » matériel européen pour le remettre à neuf et le réutiliser en Afrique. Toutefois, mis à part ce programme, Microsoft n'a pas élaboré d'autres actions écologiques, comme l'ont fait les grands fabricants d'ordinateurs. Ceci s'explique bien évidemment par le fait que Microsoft est avant tout un spécialiste du logiciel. Ainsi, non seulement l'impact environnemental est moindre mais aussi beaucoup plus difficile à évaluer. Néanmoins, on peut regretter le fait que Microsoft n'ait pas (encore ?) mis en place un plan écologique d'entreprise qui fasse la promotion d'un développement « green » pour ses logiciels en interne et en externe.

Comme nous le verrons plus tard, Microsoft offre un certain nombre de logiciels qui permettent de mieux gérer la consommation des stations de travail.

Tout comme Google, Microsoft offre des services de recherche sur internet. Il y a donc dans différents lieux des « data centers » qui permettent de répondre aux requêtes des utilisateurs. Tout comme pour Google, le nombre de « data centers » ainsi que leur localisation est secret. Il est évident de Microsoft est confronté à la même problématique que Google, celle de l'augmentation des besoins énergétiques des « data centers ». De ce fait, il est probable que Microsoft travaille activement dans le domaine des « data centers », pour élaborer des centres qui soient plus respectueux de l'environnement.

5.3.7 Société de Service en Ingénierie Informatique (SSII)

Les sociétés de service en ingénierie informatique (SSII) se concentrent essentiellement sur le développement de logiciel ou alors l'hébergement de données (« data centers »). Dans le développement d'applications, hormis proposer des applications qui permettent effectivement de diminuer l'impact environnemental à travers différents algorithmes et une meilleure gestion énergétique des postes de travail, leur rayon d'action est fortement limité.

Dans le second cas (hébergement de données), elles peuvent faire de grands efforts en mettant en place des structures architecturales et matérielles qui limitent les impacts environnementaux.

Néanmoins, on peut supposer que les différents acteurs du domaine des SSII vont très rapidement intégrer la problématique environnementale. Dans la mesure où le marché des SSII est un marché très fermé et où il y a une très forte concurrence entre les différents prestataires de services, la problématique écologique va permettre aux entreprises de se différencier entre elles. Le fait de traiter avec un prestataire de service qui prend en compte la problématique environnementale, peut être un critère de choix pour les commanditaires.

5.3.8 Conclusion

La liste d'entreprises œuvrant pour l'écologie n'est bien sûr pas exclusive, elle présente un panel d'entreprises qui œuvrent pour l'environnement. Cependant comme le montre l'étude de Greenpeace, j'aurais pu présenter les programmes environnementaux d'autres entreprises telles que Sony ou HP.

Néanmoins, ce qu'il est important de retenir, c'est qu'aujourd'hui tous les acteurs des marchés des technologies de l'information et de la communication, en passant par les constructeurs et les développeurs de logiciels, prennent très au sérieux l'écologie. Et chacun d'entre-eux (ou en collaboration avec d'autres concurrents) collaborent sur des actions écologiques en visant à diminuer nuisances.

Même si nous ne sommes encore qu'au début de cette prise de conscience collective, nul doute qu'au fil des années ces programmes vont prendre de plus en plus d'ampleur. Ceci permettra d'améliorer l'environnement et peut-être, un jour, de fournir des systèmes qui soient aussi propres que possible.

Néanmoins, derrière cet entrain écologique, on peut regretter que toutes ces entreprises ne forment pas un consortium et décident de collaborer dans une action commune. En effet, le risque lié à la multiplication de ces programmes, est que probablement peu d'entre eux aboutiront réellement. L'écologie doit avant tout rester une problématique commune et non pas une possibilité d'accroître son avantage concurrentiel, ceci même s'il paraît évident que la concurrence va pousser les différents acteurs des TICs à aller toujours plus loin dans le développement écologique.

Les coûts liés au développement de nouveaux produits écologiques devront être assumés par quelqu'un. Qui doit endosser ces coûts ? Les fabricants, les consommateurs ou les États ? Sur ces trois acteurs, il paraît évident que ce sont les consommateurs qui devront assumer ces charges. C'est un bien pour un mal, dans la

mesure où les produits informatiques seront plus écologiques, mais plus chers et donc, sans doute, moins accessibles pour certaines classes de la population. Néanmoins, ces nouveaux produits limiteront les impacts néfastes sur l'écologie et c'est tout l'écosystème de l'homme qui en sera amélioré.

La question qui se pose est de savoir s'il est davantage rentable de payer un prix plus élevé pour du matériel écologique, ou alors de devoir assumer les coûts engendrés par la pollution, avec ses conséquences sur la santé des hommes.

On peut faire l'analogie avec les premiers freins des voitures qui étaient fabriqués à partir d'amiante. Si aujourd'hui toutes les voitures étaient encore équipées de ces freins, les conséquences sanitaires sur la population seraient désastreuses.

5.4 Quelles solutions pour rendre son système d'information informatisé (SII) écologique ?

5.4.1 Les éco-composants

Une des premières solutions à mettre en œuvre pour rendre son SII éco-compatible est de se doter de composants ou d'ordinateurs qui soient écologiques. Toutefois, dans quelle mesure le sont-ils vraiment ? Ces gains en énergie sont-ils observables ?

Comme je l'ai indiqué précédemment (section 5.2), l'objectif de cette section est de comparer la consommation d'énergie entre des composants standards et des éco-composants.

Est-il possible de calculer le gain d'énergie, résultant de l'utilisation de divers éco-composants ? Cela s'avère difficile, car il n'est pas possible de calculer de manière précise la consommation d'un ordinateur. En effet, il ne s'agit pas de faire la somme de la consommation de chaque composant pour calculer la consommation totale. Comme je l'ai déjà soulevé auparavant, la consommation totale d'une machine dépendra de son état de fonctionnement. En effet, on ne consomme pas la même énergie si l'on regarde un film sur son ordinateur ou si l'on rédige un document en traitement de texte. Néanmoins, faire la somme énergétique des divers composants permet de choisir une alimentation qui est adaptée au matériel. Toutefois, l'objectif de ce travail n'est pas de discuter des besoins en alimentation.

Afin de répondre à ces questionnements, j'ai sélectionné divers composants qui étaient annoncés par les constructeurs comme étant écologiques et je me suis basé sur les

spécifications énergétiques que les constructeurs communiquent. Qu'est-ce qui indique que ces composants sont écologiques ? Ont-ils atteint des labels écologiques ?

Dans le cadre d'une étude plus approfondie, il aurait été judicieux de tester les valeurs fournies par les constructeurs dans différents mode de fonctionnement, afin de s'assurer de leur justesse et de pouvoir déterminer lesquels sont les moins gourmands en énergie. Car comme c'est le cas pour le domaine de l'automobile, par exemple, on peut faire l'hypothèse que ces valeurs sont sous évaluées et observées dans des fonctionnements bien spécifiques qui ne sont pas représentatifs de l'utilisation générale.

5.4.1.1 Les éco-portables

Regardons donc utiliser les valeurs communiquées par les constructeurs²¹ :

Consommation énergétique du MacBook, modèle MB466 et MB467 (commercialisation : octobre 2008).

Tableau 1 : Consommation électrique du MacBook modèle MB466 et MB467

Mode	100V	115V	230V
Power adapter, no-load	0.15 W	0.15 W	0.23 W
Off	0.55 W	0.55 W	0.58 W
Sleep with WOL on	1.15 W	1.15 W	1.18 W
Idle—Display off / on	9.0 W / 14.0 W	9.0 W / 14.0 W	9.1 W / 14.1 W
Power adapter efficiency	87.5%	87.5%	86.6%

Les chiffres communiqués par Apple montrent très bien la difficulté d'interprétation de ces derniers. Premièrement, on communique des chiffres sur la consommation de ces nouveaux portables, mais à quoi correspondent-ils ? Par exemple, quel est le gain par rapport aux anciens modèles ? Apple fournit des portables pour le grand public, par conséquent il ne faudrait pas devoir être en possession d'une thèse en électronique pour pouvoir interpréter ces chiffres.

« Sleep with WOL » signifie que le portable est en mode veille et que la fonction Wake On Line est activée. Cette fonction permet de faire démarrer un ordinateur à distance. Le terme « idle » signifie que la machine est inactive, ainsi on observe des variations de consommation si son écran est éteint ou allumé.

Pour ce modèle, Apple a obtenu plusieurs certifications, Energy Star et Epeat au niveau Gold. Même si le fondement du label Energy Star peut être discuté, l'obtention

²¹ <http://images.apple.com/environment/resources/pdf/MacBook-Environmental-Report.pdf>

de la certification Gold de Epeat démontre l'implication d'Apple dans la cause écologique. Cette implication est d'autant plus notable, par le fait qu'Apple s'implique sur l'ensemble du cycle de vie de son produit.

Spécifications de consommation du Dell XPS M1330

Tableau 2 : Consommation Dell XPS M1330

Service Level	Power Consumption (Watts)
*Maximum	48.44
Idle	10.58
ACPI-S3 "Standby" Mode	1.17
ACPI-S4 "Hibernate" Mode	0.5
Off Low Power Mode Disabled	0.5
External Power Supply	0.42

Ces chiffres proviennent directement du site internet de Dell²² et ces mesures ont été obtenues en faisant fonctionner ce portable à 230V.

Les deux portables ont des configurations semblables (cf. annexe 4). Ce modèle n'a pas de certification annoncée.

En regardant ces données on observe qu'il est extrêmement difficile de comparer les modèles entres eux, puisque les consommations communiquées ne correspondent pas nécessairement. Néanmoins, on observe qu'en mode inactif le modèle de Dell consomme moins d'énergie que celui d'Apple.

En conclusion, il est difficile de comparer des machines, car les données fournies par les constructeurs ne sont pas standardisées. Ensuite, comme c'est le cas dans notre exemple, ce n'est pas parce qu'un ordinateur consomme plus d'énergie qu'il est moins écologique. Ceci car la consommation électrique n'est qu'un des aspects sur lesquels on peut agir. On peut également agir sur les matériaux utilisés dans la conception, les produits ignifuges qui seront utilisés ou même le type de peinture que l'on utilisera. En l'occurrence, Dell ne semble pas avoir pris en compte l'aspect du cycle de vie de son portable, alors qu'Apple oui. Il se peut également que Dell ne l'ait pas suffisamment pris en compte pour prétendre à une certification Epeat.

²² http://www.dell.com/downloads/global/corporate/envIRON/comply/xpsnb_m1330.pdf

5.4.1.2 Des disques durs écologiques

Seagate, fabricant de disques durs, a lancé au printemps 2009 un nouveau type de disque dur dit écologique. C'est la première fois qu'un fabricant produit des disques durs « écologiques ». Ces derniers ont une vitesse de rotation des plateaux de 5'900 tours par minute. Cette valeur est pour le moins inhabituelle, car généralement on atteint des vitesses de l'ordre de 5'400 ou 7'200 tours par minute. Seagate souhaitant réduire la consommation électrique de ses équipements, a donc notamment dû diminuer la vitesse de rotation de ces derniers.

Comme nous le montrent les chiffres fournis par Seagate, ce disque dur, dans sa version 1 Terra, consomme :

- 2W au démarrage
- 5.7 W en pleine charge
- 3 W en mode inactif (idle)

Maintenant comparons ces données à celles du même disque dur, mais dans sa configuration dite standard (7'200 tours par minute) :

- 2W au démarrage
- Moins de 9.4 W en pleine charge
- Moins de 5 W en mode inactif (idle)

En conclusion, mise à part pour le démarrage du disque dur, on observe que la consommation est moindre dans la version écologique. Ainsi, pour une performance diminuée d'environ 18%, on diminue la consommation en pleine charge et en mode inactif de presque 40%, ce qui, est un gain non négligeable.

Néanmoins, il existe une alternative aux disques durs à plateau, ce sont les disques solid state drive (SSD). La différence avec les disques durs conventionnels est que l'unité de stockage est totalement électronique, il n'y a plus de mécanique. Nous n'en sommes encore qu'au début de la technologie SSD, mais il ne fait pas de doute qu'à terme cette dernière technologie remplacera les disques durs conventionnels, car les gains en énergie et en rapidité séduiront les acheteurs.

5.4.1.3 Des écrans écologiques

L'écran est un des composants qui est le plus gourmand en énergie. Aujourd'hui les fabricants font de gros efforts afin de les rendre aussi écologiques que possible et ceci tant au niveau de la consommation d'énergie, que des substances qui sont utilisées dans leur fabrication.

D'une manière générale, plus un écran sera grand en taille, plus il consommera d'énergie. Ceci s'explique par le fait qu'un écran fonctionne suivant le principe du rétro éclairage, c'est-à-dire que si la surface augmente, il faudra augmenter la surface à

éclairer, ce qui entrainera des besoins en énergie plus importants. Cependant, il est important de noter que ce n'est pas seulement une question de taille. La consommation dépendra également de la luminosité de l'écran ; ainsi, il se peut qu'un écran de grande taille réglé à une luminosité plus faible consomme moins qu'un plus petit écran réglé à une luminosité plus élevée.

En outre, les écrans qui sont fabriqués aujourd'hui (les écrans plats) consomment moins que les anciens écrans cathodiques et surtout comportent moins de substances toxiques.

Au final, un consommateur a le choix entre trois types d'écrans :

- LED
- LCD
- Plasma

D'une manière générale seuls les écrans à LED et LCD sont utilisés comme moniteurs pour l'informatique. C'est la raison pour laquelle nous allons nous intéresser qu'à ces deux catégories.

LCD définit les écrans à cristaux liquides, ce sont les premiers écrans qui ont remplacé les écrans à tube cathodique. Un des principaux avantages est une consommation nettement moins grande (deux à trois fois moindre²³) que les écrans à tube cathodique et surtout un gain de place non négligeable du fait que ces écrans sont plus minces.

Les écrans plasma sont très peu utilisés dans le domaine de l'informatique. Ils servent plus généralement comme écrans de télévision. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'ils sont beaucoup plus fragiles à manier. En outre, ils consomment plus d'électricité que les écrans LCD, mais leur processus de fabrication est plus économe.

L'alternative offerte aujourd'hui est les écrans LED. Ces derniers utilisent des diodes pour l'affichage à l'écran. Cette technologie propose l'avantage d'une meilleure définition de l'image, mais surtout d'un gain de consommation considérable. Par exemple, Samsung estime que ses écrans à LED consomment jusqu'à 40% de moins d'énergie que les autres écrans LCD.

5.4.1.4 Des processeurs plus économiques

Les processeurs informatiques sont non seulement gourmands en énergie, mais ils nécessitent en outre des systèmes de refroidissement proportionnels à leur puissance. En effet, plus un processeur sera puissant, plus il dissipera de chaleur et plus le système de refroidissement devra être performant.

²³ <http://www.clubic.com/article-14650-1-4-moniteurs-lcd-17-pouces.html>

Durant des années, les fabricants de processeurs ont suivi, la loi de Moore, qui stipule que le nombre de transistors sur une puce de silicium double tous les deux ans. Ainsi, tous les deux ans, suivant cette loi, les fabricants de processeurs doublent la capacité des micro-processeurs. Une des conséquences de cette course effrénée à la performance se traduit par une augmentation des besoins énergétiques.

Ces dernières années, les fabricants ont essentiellement concentré leurs recherches sur la mise au point de processeurs démunis de toutes substances chimiques. De ce fait, il n'existe pas sur le marché de processeurs qui soient moins gourmands en énergie pour des puissances de calculs équivalentes. Les fabricants travaillent aujourd'hui dans ce sens et tentent de concevoir des processeurs puissants et dont la consommation est moindre.

5.4.2 Les solutions logicielles et matérielles pour gérer les impacts écologiques

Une solution supplémentaire pour réduire sa consommation électrique est d'utiliser des logiciels spécifiques. En effet, il existe un certain nombre d'outils informatiques qui permettent à différents utilisateurs, en fonction de leurs besoins, de:

- Gérer la consommation électrique des postes de travail
- Gérer l'énergie des serveurs
- Contrôler la politique environnementale de l'entreprise

La liste suivante comprend un panel de logiciels et de matériel qui permettent de réduire la consommation électrique de son SII. Ces différents outils n'ont pas été testés dans le cadre de cette étude, mais je me suis basé sur la documentation disponible pour chaque produit.

5.4.2.1 Gérer l'énergie des postes clients :

Tableau 3 : Gestion de l'énergie des postes de travaux

Editeur	Produit	Commentaires
Avitis	Avitis	<ul style="list-style-type: none">• Analyse l'usage et la consommation effective des postes de travail et imprimantes.• Optimise le cycle de vie des stations et permet ainsi une meilleure planification pour le renouvellement du parc informatique.
BONA	Greenscan	<ul style="list-style-type: none">• Outil d'inventaire du parc, qui remonte les informations de consommation.• Identifie les économies d'énergies potentielles des postes en interrogeant ces derniers.• Visualise la consommation d'énergie de chaque poste, département ou filiale.
Criston	Green IT	<ul style="list-style-type: none">• Permet de faire l'inventaire des postes et de leur consommation• Mise en place d'un plan de stratégie d'économie d'énergie pour les postes de travail• Sensibilisation de l'utilisateur final (communication)

Editeur	Produit	Commentaires
Faronics	Powersave	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion intelligente de la consommation électrique • Génération en temps réel de rapports d'énergie • Planification des paramètres d'activités en fonction des Use Cases
Kaseya	User State Management	<ul style="list-style-type: none"> • Paramètres énergétiques • Mappages des lecteurs • Mappages des imprimantes
Verdiem	Surveyor	<ul style="list-style-type: none"> • Evalue, gère et réduit la consommation d'énergie
Visionsoft	Power Out 5	<ul style="list-style-type: none"> • Détection des PC dans le réseau • Création de profils d'alimentation • Déploiement des profils d'alimentation et reporting

5.4.2.2 Critique des logiciels de gestion de l'énergie des postes de travail

Au travers de cette liste de logiciels non exhaustive, on se rend compte que de manière générale tous ces logiciels permettent de faire la même chose, c'est-à-dire déployer des profils de gestion de l'énergie. L'avantage de ces logiciels est que l'on pourra prédéfinir des profils de gestion de l'énergie qui pourront être déployés très simplement sur l'ensemble du parc informatique de l'entreprise.

5.4.2.3 Gérer l'énergie des serveurs

Tableau 4 : Gestion de l'énergie des serveurs

Constructeur	Produit	Commentaires
Dell	Energy Smart Servers	<ul style="list-style-type: none"> • Processeurs à rendements élevés • Alimentations efficaces • Ventilateurs autorégulés
HP	Thermal Logic	<ul style="list-style-type: none"> • Logiciels de gestion dynamique de l'énergie
IBM	Power Executive et Active Energy Manager	<ul style="list-style-type: none"> • Module pour la gestion énergétique des serveurs IBM x86, Power et Z
Intel	Datacenter Manager	<ul style="list-style-type: none"> • Ensemble d'outils dédiés à la gestion énergétique des serveurs munis des processeurs Xenon 5500

5.4.2.4 Critique des solutions pour gérer l'énergie des serveurs

On s'aperçoit que cette liste contient des solutions de tout ordre. Ce sont aussi bien des solutions logicielles que des solutions matérielles. On se rend compte que les acteurs du marché des TICs s'impliquent de plus en plus dans le « Green IT » et proposent des solutions aux diverses problématiques écologiques. Ainsi, le fait de doter les serveurs de ventilateurs autorégulés ou d'améliorer l'efficacité des alimentations, sont autant d'actions positives, qui permettent de réduire les impacts environnementaux. Ces éco-actions sont encore insuffisantes mais traduisent une volonté commune à tous les constructeurs de proposer du matériel qui soit aussi écologique que possible. Nous n'en sommes encore qu'au début et il paraît évident que peu à peu on pourra disposer de plusieurs éco-solutions.

5.4.2.5 Contrôle de la politique environnementale de l'entreprise

Sans détailler les solutions existantes de façon précise, il existe un grand nombre de logiciels qui permettent de contrôler la politique environnementale de l'entreprise. L'objectif de ces outils est de réduire l'empreinte carbone des entreprises et ce à l'aide de tableaux de bord. Ces outils permettent dans un premier temps, de calculer l'empreinte carbone de l'entreprise (ou de la division ou du département) et deuxièmement, ils permettent de contrôler « les dépenses » en émissions de GES.

5.4.2.6 Adapter son architecture pour un éco-SII

L'architecture d'un SII a également une très grande importance, c'est même le premier élément à prendre en compte pour la conception d'un éco-SII. Avoir la possibilité de concevoir des bâtiments écologiques, avec par exemple des certifications Minergie ou de HQE, permet ainsi de posséder des lieux de production énergétiquement efficaces.

On peut aussi signaler les problématiques auxquelles sont confrontés les « data centers ». Ces derniers ont non seulement besoin d'une grande quantité d'énergie pour faire fonctionner tous les équipements réseaux, mais également pour les systèmes de refroidissement, qui permettent d'éviter que les équipements surchauffent.

5.4.2.7 Le Power Usage Effectiveness (PUE)

La consommation énergétique des « data centers » est donc un épineux problème pour les entreprises qui possèdent de grosses infrastructures, car ces dernières entraînent des coûts très élevés. Une solution possible est d'optimiser son efficacité énergétique. Pour évaluer son efficacité énergétique on utilise une métrique : le PUE.

Le PUE est calculé en divisant la consommation électrique totale du data center par la quantité d'énergie effectivement utilisée par les serveurs. L'agence américaine pour l'environnement (EPA) a fixé comme objectif que le PUE moyen des « data centers » atteigne 1.20 pour 2011. Ainsi, l'ensemble des acteurs concernés par cette problématique met tout en œuvre pour atteindre cette valeur.

C'est notamment le cas de Google, qui optimise au mieux la consommation électrique de ses « data centers ». Ainsi, en utilisant, en autres, différentes techniques de refroidissement, Google a réussi à atteindre un PUE de 1.13 sur l'un de ses « data centers » et une moyenne de 1.21 sur l'ensemble de son parc de « data centers ».

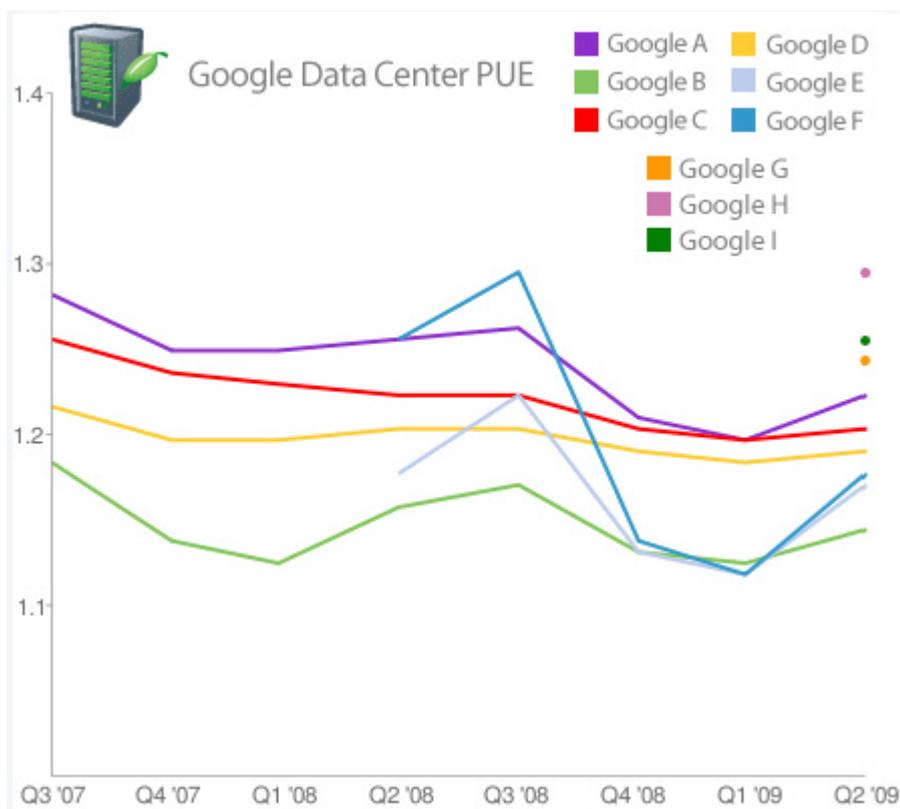


Figure 8 : Variation du PUE dans les data centers de Google

On peut observer sur le graphique²⁴ (Figure 9) suivant le PUE de neuf « data centers » que possède Google. La première constatation est que les PUE entre les centres Google A et Google B sont très différents. Ceci s'explique par le fait que le centre Google A est équipé de matériel moins récent que le Google B. Par conséquent, ce matériel est moins efficace énergétiquement. La seconde constatation est que l'on observe de fortes variations dans les différentes courbes, alors que l'on aurait pu

²⁴ <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html>

imaginer que ces dernières soient stables. Ceci s'explique par les variations climatiques ambiantes dues aux changements de saison.

Par conséquent, on peut s'apercevoir que les data centers Google E et Google F doivent être basés géographiquement sur le même continent, dans la mesure où l'on observe des pics d'augmentation du PUE sur la même période de temps (Q3 '08).

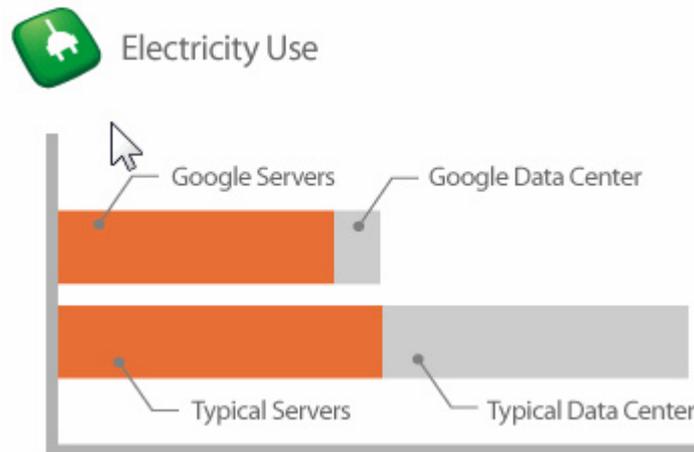


Figure 9: Comparaison de l'utilisation énergétique

La figure 10²⁵ nous montre une comparaison entre l'utilisation énergétique faite par Google et celle dans un data center traditionnel. Au travers de cette représentation, Google vante l'économie de ses systèmes de refroidissement.

Ces chiffres nous montrent donc que des efforts sont fournis pour améliorer l'efficacité des centres de données. Mais quelles sont ces techniques qui permettent d'optimiser la consommation de ces centres ?

Malheureusement, on ne connaît pas avec précision les toutes dernières techniques utilisées par Google pour obtenir un tel PUE. Ce qui est compréhensible dans la mesure où, de tels résultats assurent non seulement un avantage concurrentiel à Google (diminution des charges liées au fonctionnement de ses « data centers »), mais permettent également de crédibiliser l'image d'une entreprise qui s'engage pour l'environnement.

²⁵ <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html>

5.4.2.8 Google et son architecture serveur

Malgré le fait que le PUE assure un avantage concurrentiel non négligeable, Google a tout de même communiqué, lors du Google Efficient Data Center Summit, une partie de l'architecture qu'elle utilise pour avoir un PUE aussi faible.



Figure 10: Architecture serveur Google²⁶

La spécificité de ce type de serveur ne réside pas dans les composants utilisés, mais dans l'efficacité de toute l'architecture. Ces serveurs utilisent des alimentations qui atteignent des efficacités électriques de l'ordre de 92%. Chaque serveur est équipé de sa propre batterie et par conséquent on évite l'utilisation d'onduleurs. Au niveau de l'architecture physique, Google conserve ses serveurs dans des containers (on y met jusqu'à 11605 serveurs), qui sont refroidis en utilisant des circuits hydrauliques ainsi que des ventilateurs.

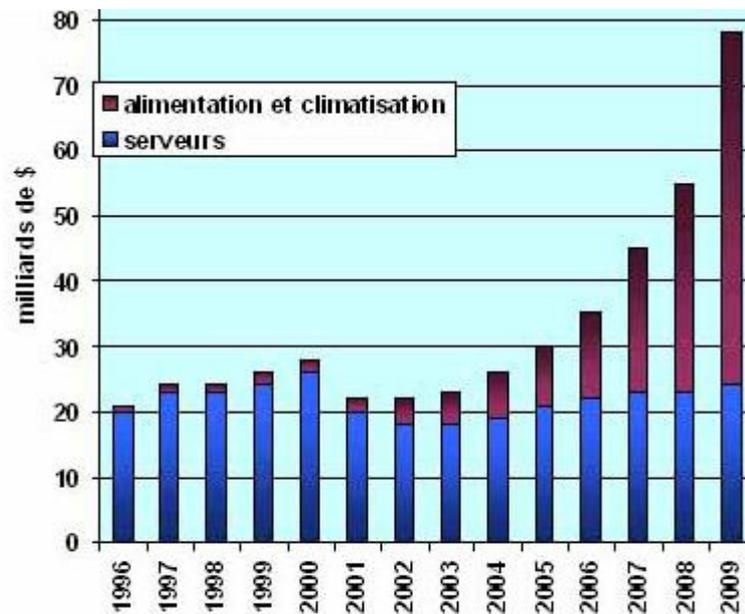
Ces données fournies par Google donnent une représentation de la façon dont elle gère la problématique énergétique. Néanmoins, rien n'indique que Google utilise ce type d'architecture dans tous ses « data centers ». C'est par ailleurs ce qui ressort du graphique de la Figure 8 : chaque data center a une architecture propre. De plus, avec cette architecture Google atteint un PUE de 1.25 or, d'après d'autres informations communiquées, elle a réussi à atteindre un PUE de 1.13 sur un de ses « data centers ». Par conséquent, la présente architecture est certainement une ancienne et les nouvelles restent secrètes.

²⁶ <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html>

5.4.2.9 Optimiser son PUE

L'exemple précédant, avec l'architecture des serveurs de Google, démontre qu'il existe plusieurs solutions techniques pour améliorer son PUE.

Comme nous l'avons expliqué au préalable, le problème est qu'aujourd'hui l'infrastructure des « data centers » (refroidissement, alimentation, alarmes,..) consomme plus que les serveurs eux-mêmes. Par conséquent, c'est dans ce domaine que l'on doit travailler pour améliorer le rendement énergétique et ainsi réduire ses coûts énergétiques.



Evolution des dépenses pour un data center

doc. Yalta, source APC / IDC

Figure 11: Evolution des dépenses pour un data center

Plusieurs solutions existent pour diminuer sa dépendance énergétique et ainsi réduire les coûts engendrés par les « data centers ». Il existe différents types de solutions, aussi bien au niveau de l'architecture des systèmes de refroidissement, que de la nécessité ou non de déployer un data center, ou alors des solutions logiciels pour limiter le nombre de serveurs. Chacune de ces solutions répond à un besoin spécifique et est à appliquer dans un certain contexte qui est propre à chacun.

Sans rentrer dans les détails techniques de chacune de ces solutions, je vais en présenter les grandes lignes.

5.4.2.9.1 Virtualisation

Le concept de virtualisation a déjà été abordé dans ce document, car c'est une solution qu'IBM promeut très largement. La virtualisation permet de faire fonctionner plusieurs systèmes d'exploitation et plusieurs applications sur un seul serveur. L'avantage majeur est que la virtualisation réduit le nombre de serveurs et utilise la totalité de la performance disponible des serveurs.

Dans un contexte écologique, la virtualisation apporte plusieurs solutions : elle réduit la consommation électrique et elle permet une optimisation du parc de serveurs. En effet, l'utilisation moyenne des serveurs, sans la virtualisation, est comprise entre 5%²⁷ et 15% de la puissance qu'ils peuvent fournir. Aujourd'hui, avec la virtualisation ce taux atteint 70%.

La virtualisation permet un déploiement d'architecture orienté client léger, qui se manifeste par un allègement du parc des stations de travail. Dans ce domaine le gain énergétique est considérable. On observe qu'un client léger consomme dix fois moins d'énergie qu'un poste de travail.

5.4.2.9.2 « Cloud computing »

Le « cloud computing » est une technique qui consiste à utiliser de la mémoire ou des serveurs de calcul qui se trouvent à divers endroits dans le monde. Dans le « cloud computing », on ne s'intéresse plus à l'infrastructure physique. Les utilisateurs ne sont plus propriétaires de leurs serveurs : ils achètent un service qui leur donne accès à des serveurs.

Grâce à cette solution, on évite l'achat de nouveaux serveurs et les coûts de fonctionnement qui en découlent. Ecologiquement c'est une bonne solution, dans la mesure où l'on va utiliser et donc optimiser une installation déjà existante.

5.4.2.9.3 Refroidir son data center

La gestion de la température d'un data center est un élément capital pour son bon fonctionnement. En effet, les serveurs sont prévus pour fonctionner dans des températures comprises entre 10° et 35°. Au-delà de ces températures soit le serveur s'arrête, soit il risque de tomber en panne. Une situation de surchauffe peut avoir des conséquences sur les données stockées (alternation des données, pertes des données). C'est pourquoi, il est si important d'avoir des systèmes de refroidissement. Or comme, nous l'avons vu jusqu'à maintenant, l'augmentation du nombre de serveurs

²⁷ http://communities.vmware.com/blogs/reza_malekzadeh

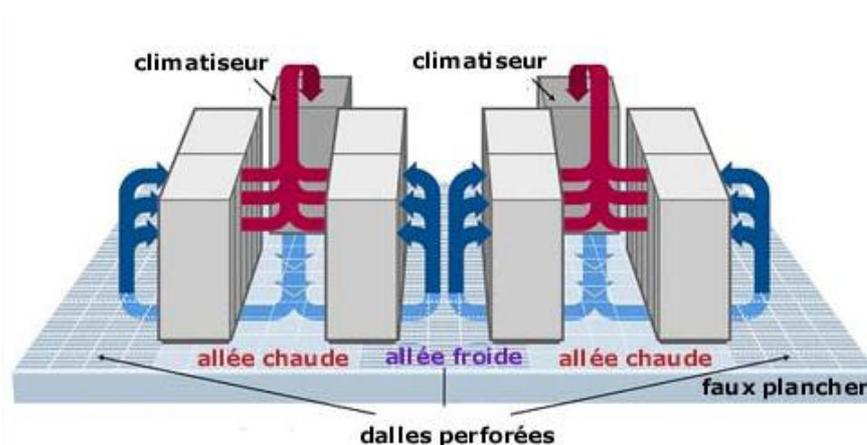
et de leur puissance a pour effet d'engendrer une explosion des coûts liés à l'infrastructure (Figure 11, page 48).

Il existe plusieurs méthodes de refroidissement pour les centres de serveurs.

5.4.2.9.3.1 Refroidissement par le faux plancher

La méthode traditionnelle de refroidissement (Figure 13) consiste à refroidir par le faux plancher de la salle. On va introduire de l'air froid sous pression par les faux planchers. L'air froid remonte par les dalles perforées et est aspiré par les équipements. Les serveurs aspirent l'air froid par l'avant et évacuent l'air chaud par l'arrière. L'air chaud remonte et est évacué.

Le problème de cette solution est que plus la baie a besoin de refroidissement, plus le flux d'air frais doit être important. De plus, la température entre le bas de la baie et le haut est plus élevée, il faut donc trouver un autre moyen de refroidissement, de telle manière à ce que la température soit homogène.



Principe d'alternance allée froide / allée chaude
doc. Emerson Network Power / Yalta

Figure 12: Refroidissement par le faux plancher

5.4.2.9.3.2 Refroidissement par le faux plancher et le haut

Il ne suffit pas seulement de refroidir par le faux plancher pour maintenir une salle de serveurs à une température homogène. Il faut donc installer des équipements de refroidissement supplémentaires sur le plafond, afin d'obtenir une température homogène dans la baie.

Cette solution permet d'assurer le bon fonctionnement d'une salle de serveurs. Néanmoins, on reste confronté à différents problèmes. Premièrement, il faut une pièce, possédant un grand volume. En effet, en déployant une telle installation, il faut que la

salle soit dotée d'une hauteur suffisante pour installer un faux plancher avec des circuits de refroidissement dans le sol et dans le plafond.

Deuxièmement, cette solution ne tient absolument pas compte de la problématique environnementale ; c'est la solution de facilité. On va doubler les équipements de refroidissement pour garantir une température homogène, on consommera donc plus d'énergie. De ce constat écologique découle une autre problématique, doit-on réellement maintenir une température homogène dans toute la salle de serveurs ? Tous les équipements ne sont pas en fonctionnement en pleine charge. Il serait donc judicieux de ne refroidir que les points qui nécessitent de l'être.

5.4.2.9.3.3 Refroidissement en boucle fermée

La solution d'un refroidissement en boucle fermée permet donc de ne plus refroidir toute la pièce, mais seulement les armoires contenant les serveurs (Figure 13) qui doivent l'être.



Figure 13: Refroidissement en boucle fermée

Cette solution se présente sous la forme d'une armoire (Figure 13) contenant d'un côté le rack de serveurs et de l'autre côté le système de refroidissement. Une architecture de ce type permet d'accroître la performance du refroidissement. De par la petite surface qui nécessite le refroidissement, on ne refroidit que ce qui doit l'être. Par conséquent, cette solution est énergiquement bien meilleure.

5.4.2.9.3.4 Le « free cooling »

Le « free cooling » est une technique de refroidissement utilisant de l'eau ou de l'air. L'objectif de cette technique est donc d'éviter d'utiliser des appareils de climatisation pour refroidir un élément. En hiver, lorsque les températures extérieures sont très fraîches, une possibilité est, par exemple, de pomper l'air extérieur. De ce fait, on va utiliser l'air froid extérieur pour refroidir les salles de serveurs.

Une autre possibilité est d'aller pomper de l'eau en profondeur dans des lacs. C'est notamment ce qu'à fait l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) pour refroidir son data center. Elle va directement puiser l'eau à l'intérieur du lac Léman. La seule condition pour une technique de ce type, est que le centre de données soit en bordure d'une réserve d'eau. De plus, cette réserve doit avoir une certaine profondeur, afin que l'eau soit suffisamment froide.

Du point de vue écologique, les techniques de « free cooling » sont adaptées, car on va chercher à exploiter des éléments naturels qui nous entourent, pour arriver à refroidir ou même chauffer des éléments.

5.4.2.10 Informer ses collaborateurs

Même si aujourd'hui avec les outils dits « intelligents » pour la gestion énergétique des postes de travail on peut déjà réduire leur consommation, rien ne remplace une bonne utilisation de la part des utilisateurs. En effet, on peut sensibiliser l'utilisateur sur plusieurs points :

- Eteindre sa station et son écran à la fin de sa journée de travail
- Limiter les impressions au strict nécessaire
- Privilégier les visioconférences aux déplacements en transport motorisé

Ce sont de petites économies énergétiques, mais mises à l'échelle de grandes entreprises employant plusieurs centaines de milliers d'employés, ces petites économies prennent tout de suite beaucoup d'importance.

6. Réflexion

Au cours de ce travail, j'ai présenté divers aspects environnementaux dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TICs). On a pu observer qu'il existe un gros investissement de la part de l'ensemble des acteurs du domaine des TICs pour innover dans de nouveaux composants qui limitent les impacts écologiques.

6.1 La problématique des labels et autres régulations

Comme je l'ai présenté, il existe un grand nombre de labels ou de régulations visant à développer de nouveaux produits qui limitent les impacts écologiques. Ces initiatives sont positives, dans la mesure où elles permettent de concevoir des écoproduits. Néanmoins, on peut regretter la multiplication des labels et des régulations pour plusieurs raisons. Premièrement, plus il en existe, plus cela complexifie le processus de comparaison en vue de l'acquisition d'un écoproduit. Par exemple, si un acheteur hésite entre un composant certifié Blue Angel et un Epeat, il va être difficile pour lui de déterminer lequel des deux est le plus écologique. Ceci car il n'existe pas une métrique qui permette de clairement distinguer les labels entre eux lorsqu'ils certifient les mêmes aspects.

Deuxièmement, ce n'est pas parce qu'un produit a atteint un niveau d'excellence dans un label, qu'il est totalement écologique. Dans le cas d'une certification Epeat par exemple, il se peut que deux produits obtiennent la certification Gold. L'un d'entre eux a atteint le niveau maximum dans tous les objectifs d'évaluation et l'autre a juste obtenu le niveau suffisant. Ces deux produits ne sont donc pas du même « niveau écologique » et pourtant ils ont le même niveau de certification.

Ainsi au travers de ces observations, on se rend compte de la complexité de distinction qu'engendre le nombre de labels.

Une solution, face à la multitude de labels qui existe, serait d'avoir une entité qui se charge d'édicter des objectifs à atteindre pour les fabricants et qui délivrerait des certifications en fonction du domaine (cycle de vie, produits toxiques, consommation,...). Le problème est que le domaine des TICs se développe à une telle vitesse et dans des domaines si variés, qu'il est quasi impossible d'édicter une certification générale qui regroupe tout.

Malgré le fait que nous avons pu observer des lacunes dans le label Epeat, il est important de relever que c'est le seul label qui prend en compte l'ensemble du cycle de vie du composant, ce qui est déjà en soi une grande amélioration. Nous ne sommes donc qu'à l'ébauche de ce type de certification et il reste une certaine marge de manœuvre pour les améliorer.

Au niveau des réglementations, hormis l'implication de la communauté européenne, qui a édicté des directives qui doivent obliger les fabricants à prendre en compte la problématique écologique, peu d'autres réglementations strictes ont été mises en place au niveau international. Ce n'est pas une surprise dans la mesure où de grands pays fabricants de composants informatiques, tels que les Etats-Unis, n'ont pas signé le protocole de Kyoto par exemple (cf. section 1.1). Pourtant, malgré le fait qu'aucune législation n'existe aux Etats-Unis, on peut observer que les entreprises technologiques américaines prennent très au sérieux la problématique environnementale. Ces dernières font leur possible pour créer des composants qui respectent au mieux l'environnement ou proposent un certain nombre d'actions dans le domaine de l'écologie. Ceci semble démontrer qu'au-delà des lois, ce sont aussi les initiatives individuelles de managers engagés qui poussent les entreprises à développer des écoproduits.

6.2 Qui est le leader dans le développement écologique ?

On se rend compte en parcourant ce travail de recherche qu'une entreprise se distingue spécialement de part son implication écologique : Google. Comme se fait-il que Google s'implique pareillement dans l'écologie ? Est-ce le fruit d'une communication mieux gérée de sa part, ou alors est-ce que l'écologie est réellement une préoccupation pour Google ?

Google fournit des services internet et pour répondre à la demande des utilisateurs, elle doit déployer des « data centers ». Ces « data centers » sont de très gros consommateurs d'énergie et les coûts engendrés par leur fonctionnement sont abyssaux. Ainsi, la logique économique pousse Google à mettre au point de nouvelles stratégies pour diminuer sa consommation énergétique. Même s'il ne faut pas négliger la pression financière (coûts engendrés par toute l'infrastructure) pour expliquer l'implication de Google dans l'écologie, il ne faut pas la réduire à ce simple constat ! Google est une entreprise jeune, qui a à sa tête de jeunes managers qui ont grandi avec la problématique écologique. Ceci peut, en partie, aider à comprendre l'implication de cette dernière dans l'écologie. De plus, Google a été fondée dans la Silicon Valley, lieu qui a souffert de graves pollutions dues à l'industrie électronique, et qui devient, peu à peu, la capitale du « développement écologique technologique ».

Les actions écologiques de Google ne se limitent pas à réduire la consommation électrique de ses « data centers », mais également à concevoir des bâtiments écologiques ou encore d'autres actions du même type. Certes Google démontre une très forte implication dans le développement écologique, mais il faut aussi admettre qu'elle gère à la perfection la communication de son engagement vis-à-vis de

l'écologie. Elle met à disposition du public toutes formes de supports : vidéos, articles, présentations ou encore des forums de discussions, pour démontrer son action.

6.3 L'état doit-il intervenir de manière contraignante ?

La meilleure solution face à la multitude de label et de réglementations existants sur chaque continent, ne serait-elle pas que les états s'unissent pour mettre au point un accord du même type que le protocole de Kyoto, mais pour le matériel électronique ? Sans aucun doute ce serait une bonne chose. Toutefois, plusieurs obstacles se dressent devant une telle initiative. Premièrement, le fait que nous évoluons dans un système libéral, où il est mal perçu que l'État édicte des règlements ou des lois contraignantes pour les fabricants. Ce serait considéré comme une ingérence de l'État. De ce fait, il est fort probable que l'on serait confronté au même problème que pour le protocole de Kyoto. C'est-à-dire qu'au nom du maintien de la productivité, on n'impose pas des mesures contraignantes qui pourraient empêcher l'expansion des entreprises.

Deuxièmement, il y a peu de chance de voir prochainement une intervention des États dans ce domaine. En effet, dans la mesure où le secteur des TICs ne représente pas une part importante des émissions totales de CO₂ (2%) les États ne vont pas s'impliquer plus que ce qu'ils font déjà dans le cadre du protocole de Kyoto. De plus, la régulation des émissions de gaz à effet de serre aurait des répercussions sur le domaine des TICs. Comme pour l'ensemble des domaines participant aux émissions de gaz à effet de serre, les TICs devront également réduire leurs émissions pour atteindre les nouvelles exigences édictées. Il faudra ainsi, mettre en place des mécanismes qui leur permettent d'atteindre ces nouveaux objectifs tout en maintenant la productivité.

La question des déchets toxiques est certes un problème pour les gouvernements. Néanmoins, aujourd'hui ces derniers concentrent leur attention sur une plus grande problématique qu'est le réchauffement climatique.

Sans nécessairement imposer de nouvelles lois contraignantes visant la fabrication ou la composition des composants électroniques, les États pourraient édicter certaines réglementations. Ces dernières pourraient demander que tous les fabricants du domaine des TICs fournissent des informations très détaillées sur la composition et la consommation des composants sous un format standardisé. De cette manière, les comparaisons entre les composants électroniques seraient simplifiées. En outre, on peut imaginer que les fabricants feraient alors tout ce qu'ils peuvent afin de proposer des composants aussi écologiques que possible.

Cependant, avant d'instaurer de nouvelles réglementations, il faudrait s'assurer que celles qui sont déjà en place soient correctement appliquées. Prenons comme exemple la convention de Bâle. Celle-ci vise à réduire la circulation de déchets dangereux entre les pays développés et ceux en développement. Ceci afin d'éviter que les pays en voie de développement se transforment en déchetterie. Malgré cette convention, des pays sur le continent africain ou même en Chine continuent de réceptionner des déchets occidentaux.

6.4 Quelles solutions pour diminuer la consommation ?

Comme je l'ai présenté tout au long de ce travail, il existe un grand nombre de solutions pour diminuer la consommation des infrastructures informatiques. Ces solutions se présentent sous différentes formes : des solutions avec du matériel qui consomme moins, des solutions logicielles et des solutions architecturales pour les « data centers ». Il est intéressant de constater qu'au final on est en présence de deux types de solutions :

- Les solutions techniques, qui nous permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des infrastructures existantes. Ces solutions sont issues de diverses recherches que l'industrie des technologies va exploiter.
- Les solutions de support, qui sont développées pour aider l'utilisateur à atteindre des objectifs écologiques, comme par exemple, une diminution de la consommation des postes par l'entremise de différents logiciels de gestion de l'énergie.

De ces deux types de solutions, il ne fait aucun doute, que les solutions dites techniques sont vitales pour concevoir des SII qui limitent les impacts environnementaux. Ceci car les solutions techniques ont des impacts nettement plus importants et visibles que les solutions logiciels. De plus, il paraît certain que les industriels auront la capacité de concevoir des produits encore plus écologiques et ce grâce aux nombreuses recherches menées dans ce domaine.

Pour ce qui est des solutions dites de support, ces dernières sont disponibles sous la forme de différents logiciels. Ces applications permettent d'optimiser la gestion énergétique des postes de travail. Ceci présente l'avantage de pouvoir paramétrer un profil de consommation type qui sera appliqué à tous les postes de travail de l'entreprise. L'utilisateur n'a donc plus à se soucier de la consommation qu'engendre l'utilisation d'un ordinateur, puisque le logiciel s'en occupe. Néanmoins, on peut se poser la question suivante : est-il nécessaire d'investir des sommes importantes dans la mise en place de ces logiciels de gestion de l'énergie ? En fin de compte, ces logiciels remplacent les gestes écologiques que devraient effectuer chaque utilisateur :

comme éteindre sa station en quittant son lieu de travail ou en paramétrant correctement les mises en veille. Ainsi, hormis le fait que ces solutions peuvent permettre de faire des rapports détaillés sur la consommation électrique d'une entreprise, le reste n'apporte rien de nouveau. Au contraire, on peut penser que ce genre de solution va produire l'effet inverse chez l'utilisateur : elles ne vont pas le sensibiliser directement à l'économie d'énergie et le rendre actif dans ce domaine, puisque l'informatique fait tout à sa place ! La problématique écologique est un problème qui découle du comportement de l'homme et c'est avant tout à lui de s'engager et de s'éduquer pour faire en sorte qu'il préserve sa planète.

6.5 Peut-on limiter l'augmentation des appareils électroniques ?

Une autre solution imaginable pour limiter l'impact écologique serait de réduire le nombre d'appareils électroniques utilisés. Est-ce une solution envisageable et comment la mettre en œuvre ?

Une limitation de l'augmentation des appareils informatiques pourrait se faire en augmentant le prix de ces derniers. Néanmoins, une telle solution aurait des conséquences désastreuses, puisqu'ainsi on limiterait l'accès au matériel informatique aux personnes ayant des ressources financières insuffisantes. Cette solution n'est donc pas envisageable. En effet, on observe que les prix du matériel informatique ont fortement diminué ces dernières années. Malgré ces baisses, cela reste toujours des biens de consommation que peu de personnes peuvent se permettre. Par conséquent, il faut imaginer d'autres solutions.

Nous pouvons observer qu'une partie de l'humanité n'a pas les moyens d'investir dans du matériel informatique et que d'autres ont des besoins croissants en nouveau matériel informatique. Ainsi on peut, comme c'est déjà le cas pour un grand nombre de projets, envoyer du matériel informatique inutilisé à destination des pays en voie de développement. Ces projets sont très positifs, car non seulement ils permettent de donner accès à la technologie informatique à des personnes avec peu de ressources financières, mais ils permettent également de réutiliser du matériel qui était en fin de vie. Si les retombées sociales de ce type de projet sont excellentes, il ne faut pas non plus en négliger l'aspect environnemental. En effet, il ne faut pas se satisfaire de tels projets pour envoyer du matériel informatique inutilisé à l'autre bout du monde, afin d'éviter de devoir le recycler. Il faut donc une structure sur place qui réceptionne le matériel. Ceci afin de contrôler le bon fonctionnement du matériel, mais également de

sensibiliser les futurs utilisateurs à la problématique écologique, tant au niveau de la consommation énergétique que des substances toxiques que contiennent certains de ces équipements. De plus, il serait nécessaire de construire des centres de recyclage, de manière à ce que ces pays, puissent recycler notre ancien matériel informatique dans les meilleures conditions. Les centres de recyclages sont une condition sine qua non pour la mise en place de structures d'aide pour les pays émergents. Sans ces centres de recyclage, on ne fait que déplacer le problème de la gestion des déchets électroniques sur d'autres continents.

Il paraît évident qu'une telle structure engendre un certain nombre de coûts. Ces coûts devraient être répercutés sur les entreprises qui envoient leur ancien matériel. On pourrait créer une taxe pour l'entraide informatique aux pays en voie de développement. On peut penser que l'introduction de cette taxe découragera un certain nombre d'entreprises à envoyer du matériel informatique, du fait qu'elles doivent s'en acquitter. Néanmoins, cette taxe nous permettra d'éviter que les pays en voie de développement continuent à être la déchetterie des pays occidentaux.

Pour les pays occidentaux, hormis le fait d'envoyer leur matériel dans d'autres pays, il existe la possibilité de le mettre à jour. Ainsi, on peut enrichir les performances de son matériel en ajoutant de la mémoire, de la capacité de stockage ou en changeant diverses pièces. Ceci nous évite de nous débarrasser de notre ancien matériel et de le réutiliser, tout en l'adaptant à nos nouvelles exigences. Malheureusement, cette solution n'est pas toujours applicable dans la mesure où le matériel et les architectures évoluent extrêmement rapidement dans le domaine de l'informatique. Il est donc très difficile de trouver de nouveaux composants (mémoires, processeurs,...) qui s'adaptent aux anciennes architectures. Mais les possibilités d'évolution ou de remplacement en cas de panne de son matériel existent et c'est la voie à privilégier avant de penser à remplacer l'entièreté de son infrastructure informatique.

On observe aujourd'hui que le cycle de vie du matériel informatique est passé de 6 ans à 2 ou 3 ans. Pourquoi une telle diminution? Les besoins en logiciel spécifique, tels que des outils de business intelligence ou encore de traitement d'images, peuvent expliquer cette diminution. Toutefois cette explication est valable pour une minorité d'utilisateurs. L'autre explication peut provenir de la main mise de Microsoft sur le marché des systèmes d'exploitation. En effet, en étant en position dominante sur ce marché, Microsoft a le pouvoir de faire ce qu'elle veut. Elle impose des systèmes d'exploitation qui demandent toujours plus de ressources pour des améliorations purement esthétiques et qui au fil du temps, avec l'installation des différents « services

packs » a tendance à polluer l'ensemble du système. Il ne fait donc aucun doute que Microsoft a un net impact sur l'écologie, en diminuant le cycle de vie des infrastructures informatiques. Aujourd'hui pourtant, se sont les fabricants de composants informatiques qui doivent s'adapter aux nouvelles législations et concevoir des composants écologiques, tout en répondant aux besoins en performance des produits Microsoft.

Il est évident que cette accélération de la consommation de composants informatiques les arrange aussi, puisque cela leur permet d'écouler de grandes quantités de marchandises dans des laps de temps plus courts. Néanmoins, il ne faudrait pas seulement pointer du doigt les fabricants pour leur non respect de l'environnement, mais également faire en sorte que Microsoft assume sa part de responsabilité dans cette problématique.

Le fait que le matériel informatique évolue si rapidement, rend le processus d'achat de composants complexe. Dès le moment où l'on investit dans du matériel dont on souhaite maximiser le cycle de vie, la solution de facilité pourrait être d'acheter du matériel très puissant en pensant que ce dernier durera plus longtemps. Ce raisonnement n'a pas de sens, dans la mesure où dans l'implantation d'un système d'information informatisé (SII) en conformité avec l'écologie, l'objectif est que non seulement le SII prenne en compte la problématique écologique, mais qu'il soit également en conformité avec les besoins des utilisateurs. Il est inutile de déployer des systèmes très performants pour des utilisateurs qui n'en ont pas le besoin. Ainsi, le choix du système d'exploitation aura une incidence sur le matériel à acquérir et surtout sur le cycle de vie de ce dernier. Il faut donc bien réfléchir aux diverses conséquences liées à l'utilisation d'un système d'exploitation libre (Ubuntu, Debian,..) ou d'un système d'exploitation propriétaire (Windows). Par conséquent, le processus d'achat doit amener à une réflexion qui doit déboucher sur une solution qui satisfasse les exigences de l'entreprise, tant économiquement que productivement, tout en intégrant la problématique écologique.

6.6 Quand l'informatique aide l'écologie

Jusqu'à maintenant j'ai beaucoup parlé des impacts néfastes des SII sur l'écologie. Or, il ne faut pas s'arrêter à cette seule constatation. L'informatique contribue à faire avancer la cause écologique. Tous ces kilos watts consommés nous permettent de calculer, de faire des simulations et de concevoir différents types de produits écologiques, en passant par des moteurs de voiture plus performants à des constructions de bâtiments plus écologiques. Aujourd'hui l'informatique est un support indissociable pour concevoir de nouveaux produits.

Par conséquent, les SII ne sont pas seulement des gouffres à énergie ou des bombes toxiques, ils nous permettent de résoudre un certain nombre de problèmes qui seraient insolubles sans ces technologies.

6.7 Le guide du Système d'Information Informatisé écologique

Pourquoi rédiger un guide pour un système d'information informatisé (SII) plus écologique ? En parcourant ce travail on se rend compte des différentes possibilités qui existent en matière d'écologie dans l'informatique. Le problème est que le domaine est très dense. Il n'est pas évident de s'y retrouver avec tous ces différents labels, composants ou encore architectures. Ainsi, il m'a paru important d'élaborer un outil de travail qui permette un premier dépouillement de toutes les ressources existantes. A l'aide de ce guide (cf. annexe 5), qui se veut clair et concis, je souhaite apporter des éléments objectifs pouvant aider à mettre en place un système d'information informatisé écologique.

Ce guide n'est pas un mode d'emploi qui indique étape par étape la marche à suivre pour déployer un éco-SII. Cette aide doit servir de base pour la mise en place d'un éco-SII. Il doit introduire le lecteur aux diverses solutions qui existent afin qu'il puisse faire son choix sur la ou les solutions qu'il juge en adéquation avec ses besoins. Le lecteur peut ensuite approfondir le sujet sur la technologie qu'il souhaite déployer. L'objectif de ce guide est de rester concis tout en contenant les informations essentielles.

De même, il me paraît important que ce guide ne rentre pas dans des détails d'ordre technique et ce pour plusieurs raisons. Premièrement, ce guide n'est pas destiné à des techniciens, mais aux personnes qui ont le pouvoir de décision et qui souhaitent disposer d'un éco-SII. Cette distinction est importante, dans la mesure où il ne faut pas que les termes utilisés soient trop techniques, afin d'assurer une bonne compréhension par tous. Deuxièmement, ce guide n'a pas pour objectif d'être un catalogue de pièces, qui liste les différents composants écologiques. En effet, le but de ce guide n'est pas de faire de la publicité pour les divers fabricants du domaine technologique qui proposent des éco-composants. De plus, vu la vitesse à laquelle le marché des composants électroniques évolue, les composants cités seraient rapidement désuets, car remplacés par de nouvelles innovations.

7. Conclusion

Au travers de cette recherche on mesure l'essor qu'est en train de prendre l'écologie dans le domaine de l'informatique. Le grand nombre de labels, de directives et même d'actions écologiques entreprises, traduit parfaitement l'importance qui est donnée à l'écologie aujourd'hui. Dès lors, il ne fait aucun doute qu'à moyen terme nous aurons à notre disposition divers composants qui limiteront fortement les impacts écologiques sur l'ensemble du cycle de vie du matériel informatique, tout en maintenant la croissance et la productivité des entreprises. Ainsi, le fait de concilier informatique et écologie ne signifie pas que l'on va disposer de systèmes moins fiables ou moins performants. Bien au contraire, cela signifie que l'on optimise les systèmes existants en y intégrant la problématique environnementale.

Néanmoins, comme il a été énoncé dans cette recherche, la diversité des labels et la difficulté de comparer du matériel écologique rend complexe l'intégration de l'écologie dans l'informatique. En effet, dans la mesure où il n'existe pas de règles quant à la façon de certifier un produit, chacun élabore ses propres méthodes de certification. Ce qui, par conséquent, rend difficile des distinctions d'ordre qualitatives entre les produits labélisés. De même, il n'existe pas de standard pour les données afin de comparer, de manière adéquate, les composants écologiques entre eux. Ainsi, le processus d'acquisition de matériel informatique écologique s'en trouve complexifié.

Le guide élaboré ici doit justement permettre un dépouillement des différentes certifications existantes, mais il n'a pas pour objectif de pallier les problèmes issus des similitudes de certification.

Ce travail m'a permis de me confronter à deux problématiques. Premièrement à la problématique écologique. Il m'a en effet fait prendre conscience de l'urgence de la situation et des différentes conséquences écologiques auxquelles nous serons bientôt confrontés. Deuxièmement, cette recherche m'a permis d'étudier de manière approfondie l'écologie dans le domaine de l'informatique. Ainsi, ce travail a apporté une réelle plus-value à ma formation, dans la mesure où il m'a permis de découvrir un nouveau domaine qui est en plein essor et auquel je risque certainement d'être confronté rapidement dans ma carrière professionnelle.

8. Bibliographie

8.1 Publications

KOOMEY Jonathan G. *Estimating Total Power Consumption By servers in the US and the World*. Stanford University. Février 2007. 20p.

PriceWaterHouseCoopers. *Going green: Sustainable growth strategies*. USA. Février 2008. 70p.

MINES Christopher. *The Dawn of Green IT Services*. USA. Février 2008. 18p.

01Informatique. *La lente éclosion de la Green IT*. Paris : Groupe Tests. Juin 2009. 70p.

Greenpeace. *8^e édition du guide pour une hi-tech responsable*. France : Greenpeace. Juillet 2009. 10p.

8.2 Articles

COMENGE Yannick. *Du «Pacte écologique» à la «Green Informatique»*. In : Site *Natura Vox* [en ligne]. Publié le 26.03.2007. <http://www.naturavox.fr/Du-Pacte-ecologique-a-la-Green-Informatique.html> (consulté 13.09.2009).

LOUKIL Ridha. *Intel élimine le plomb de ses microprocesseurs*. In : Site *Industrie* [en ligne]. Publié le 28.05.2007. <http://www.industrie.com/it/electronique/intel-elimine-le-plomb-de-ses-microprocesseurs.6171> (consulté 10.09.2009).

SERRIES Guillaume. *Le cloud computing, l'informatique de demain*. In : Site *Journal du net* [en ligne]. Publié le 26.03.2008. <http://www.journaldunet.com/solutions/systemes-reseaux/analyse/le-cloud-computing-l-informatique-de-demain.shtml> (consulté 30.08.2009).

DUPONT Benoît. *Ecrans : toute la vérité sur leur consommation*. In : Site *èreNumerique* [en ligne]. Publié le 02.04.2008. http://www.erenumerique.fr/ecrans_toute_la_verite_sur_leur_consommation-art-1951-1.html (consulté 30.08.2009).

Dandumont Pierre. *Le choix du disque dur et la consommation*. In : Site *présence PC* [en ligne]. Publié le 25.04.2008. http://www.erenumerique.fr/ecrans_toute_la_verite_sur_leur_consommation-art-1951-1.html (consulté 30.08.2009).

SERRA Yann. *Les logiciels seront-ils un jour écologiques*. In : Site *01 informatique* [en ligne]. Publié le 05.06.2008. <http://www.01informatique.fr/Archives/Les-logiciels-seront-ils-un-jour-ecologiques/> (consulté 10.09.2009).

BORDAGE Frédéric. *Google révèle le secret de ses centres informatiques*. In : Site *GreenIT.fr* [en ligne]. Publié le 17.04.2009.
<http://www.greenit.fr/article/acteurs/hebergeur/google-revele-le-secret-de-ses-centres-informatiques> (consulté 30.08.2009).

8.3 Sites internet

THE BLUE ANGEL. *Site de l'association Blue Angel (certification)* [en ligne].
<http://www.blauer-engel.de/en/index.php> (consulté le 30.06.2009)

HQE. *Site de l'association pour la haute qualité environnementale (certification)* [en ligne].
<http://www.assohqe.org/> (consulté le 30.06.2009)

ENERGY STAR. *Site d'introduction au programme européen Energy Star (certification)* [en ligne].
<http://www.eu-energystar.org/fr/index.html> (consulté le 30.06.2009)

EPEAT. *Site d'introduction au programme Epeat (certification)* [en ligne].
<http://www.epeat.net/> (consulté le 30.06.2009)

80Plus. *Site du programme 80Plus (certification)* [en ligne].
<http://www.80plus.org/> (consulté le 30.06.2009)

GreenGuard. *Site du programme GreenGuard (certification)* [en ligne].
<http://www.greenguard.org/> (consulté le 30.06.2009)

TCO. *Site du programme TCO (certification)* [en ligne].
<http://www.tcodevelopment.com/> (consulté le 30.06.2009)

ISO. *Site de présentation des fondements de la série de normes ISO 14000 (certification)* [en ligne].
http://www.iso.org/iso/fr/iso_14000_essentials (consulté le 30.06.2009)

UE. *Site de présentation de la directive REACH* [en ligne].
http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm (consulté le 30.06.2009)

EU. *Site de présentation de la directive RoHS* [en ligne].
<http://www.rohs.eu/english/index.html> (consulté le 30.06.2009)

EU. *Site de présentation de la directive Energy Using products* [en ligne].
http://ec.europa.eu/enterprise/eco_design/index_en.htm (consulté le 30.06.2009)

IBM. *Site de présentation de l'implication dans l'écologie d'IBM* [en ligne].
<http://www-05.ibm.com/ch/ibm/fr/umwelt/produkte/> (consulté le 30.06.2009)

EKWO. *Site de présentation des conséquences de l'informatique sur l'écologie* [en ligne].
<http://www.ekwo.org/coktailinfor.php3> (consulté le 30.06.2009)

DELL. *Site de présentation de l'implication dans l'écologie de Dell* [en ligne].
<http://content.dell.com/us/en/corp/dell-earth.aspx> (consulté le 30.06.2009)

- INTEL. *Product Ecology and Recycling* [en ligne]. http://www.intel.com/intel/other/ehs/product_ecology (consulté le 01.07.2009)
- AMD. *AMD Broadens Sustainability Commitment with Eighth Annual Global Climate Protection Plan* [en ligne]. http://www.amd.com/us-en/Corporate/VirtualPressRoom/0,,51_104_543_15434~128700,00.html (consulté le 01.07.2009)
- AVITIS. *Site du logiciel Avitis* [en ligne]. www.avitis.net (consulté le 01.07.2009)
- BONA. *Site de l'éditeur du logiciel Greenscan* [en ligne]. www.bona.com (consulté le 01.07.2009)
- CRISTON. *Site de l'éditeur du logiciel Green IT* [en ligne]. www.criston.com (consulté le 01.07.2009)
- FARONICS. *Site de l'éditeur du logiciel Powersave* [en ligne]. www.faronics.com (consulté le 01.07.2009)
- KASEYA. *Site de l'éditeur du logiciel User State Management* [en ligne]. www.kaseya.com (consulté le 01.07.2009)
- VERDIEM. *Site de l'éditeur du logiciel Surveyor* [en ligne]. www.verdiem.com (consulté le 01.07.2009)
- VISIONSOFT. *Site de l'éditeur du logiciel Power Out 5* [en ligne]. www.visionsoft.com (consulté le 01.07.2009)
- GUIDE INFORMATIQUE. *Refroidissement haute performance des data center* [en ligne]. http://www.guideinformatique.com/fiche-refroidissement_haute_performance_des_data_centers-847.htm (consulté le 01.07.2009)
- GOOGLE. *Data Center Efficiency Measurements* [en ligne]. <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html> (consulté le 30.08.2009)
- VMWARE. *Site d'introduction à la virtualisation* [en ligne]. <http://www.vmware.com/fr/virtualization/> (Consulté le 30.08.2009)

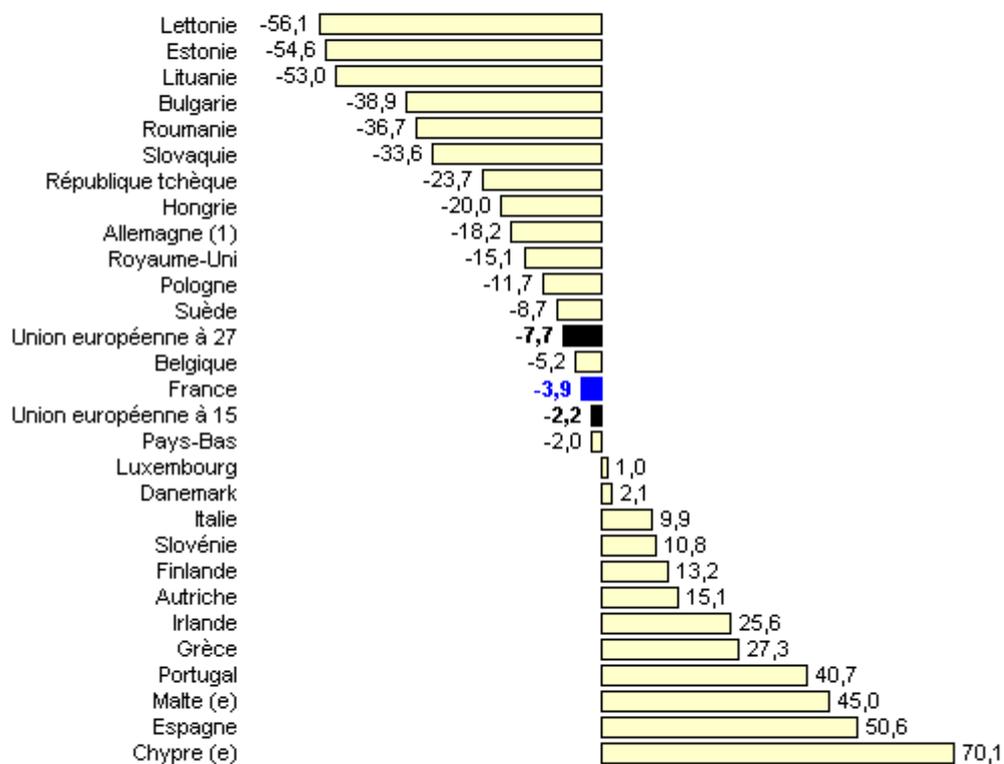
Annexe 1

Emission de gaz à effet de serre dans l'Union européenne

Tableau 5: Emission de gaz à effet de serre

Émissions de gaz à effet de serre dans l'Union européenne

Évolution 1990-2006 (en %)



(1) : incluant l'ex-RDA.

(e) : estimations.

Champ : émissions de gaz à effet de serre hors utilisation des terres, leur changement et la forêt.

Source : Agence européenne pour l'environnement ; Environment protection agency ; Eurostat.

Annexe 2 Guide to greener electronics (July 2009)

	<p>7.45 Nokia -- Scores top marks for leading competitors on toxic phase out.</p> <p>7.1 Samsung -- Holds second position for commitment to reduce absolute emissions.</p> <p>6.5 Sony Ericsson -- Up two places with better product energy efficiency reporting</p> <p>5.7 LG Electronics -- Up two places but needs to eliminate hazardous chemicals from all products</p> <p>5.5 Toshiba -- Moves up two places with an extra point for promising to cut GHGs</p> <p>5.5 Motorola -- Scores higher and climbs two places because of use of renewable energy</p> <p>5.3 Philips -- Falls from 4th to 7th position and needs to put its commitment to responsible recycling policies into practice</p> <p>5.3 Sharp -- Rises from 9th to joint 7th place with its energy efficient products</p> <p>4.9 Acer -- Put 16 new models of a monitor that are almost free of hazardous chemicals and climbed two places from 11 to 9 but still need to sort out the power cord</p> <p>4.9 Panasonic -- Advance from 12th to 10th place for energy efficiency and pvc free product range but still bad on e waste</p> <p>4.7 Apple -- Drop one position to 11th with no change in scores but get kudos for their green macbook</p> <p>4.5 Sony -- Plunges from 5th to 12th place for inadequate commitments on eliminating hazardous chemicals, e waste policy and cutting GHGs</p> <p>3.9 Dell -- Stays at 13th place because of backtracking on toxics phase out</p> <p>3.5 HP -- Is at 14th position and has no products on the market free of toxic substances</p> <p>2.5 Microsoft -- Loses a point for a poor recycling policy but stays in 15th position</p> <p>2.5 Lenovo -- Down two places with no set timeline for toxics phase out on all products</p> <p>2.4 Fujitsu -- Debuts second from last with no products that are free of hazardous chemicals</p> <p>1 Nintendo -- Stays put in last position with a glimmer of hope with partially pvc free consoles</p>
--	---

Annexe 3

Consommation électrique disque dur Seagate Barracuda LP

Specifications	2 TB¹	1.5 TB¹	1 TB¹
Model Number	ST32000542AS	ST31500541AS	ST31000520AS
Interface Options	SATA	SATA	SATA
Performance			
Transfer Rate, Max Ext (MB/s)	300	300	300
Sustained Data Rate OD (MB/s)	95	95	95
Cache (MB)	32	32	32
Average Latency (ms)	5.5	5.5	5.5
Spindle Speed (RPM)	5900	5900	5900
Configuration/Organization			
Bytes per Sector	512	512	512
Reliability/Data Integrity			
Contact Start-Stops	50,000	50,000	50,000
Nonrecoverable Read Errors per Bits Read	1 per 10E14	1 per 10E14	1 per 10E14
Annualized Failure Rate (AFR)	0.32%	0.32%	0.32%
Power Management			
Startup Current +12 V Peak (A±10%)	2.0	2.0	2.0
Operating, Average (W)	6.8	6.8	5.7
Idle, Average (W)	5.5	5.5	3.0
Environmental			
Temperature			
Operating (°C)	0 to 60	0 to 60	0 to 60
Nonoperating (°C)	-40 to 70	-40 to 70	-40 to 70
Shock,			
Operating, 2 ms (G)	70	70	70
Nonoperating, 1 ms (G)	300	300	350
Acoustic (bels-sound power)			
Idle	2.5	2.5	1.9
Seek	2.6	2.6	2.0
Physical			
Height (in/mm)	1.028/26.1	1.028/26.1	1.028/26.1
Width (in/mm)	4.010/101.85	4.010/101.85	4.010/101.85
Depth (in/mm)	5.787/146.99	5.787/146.99	5.787/146.99
Weight (lb/kg)	1.44/0.66	1.44/0.66	1.4/0.64

Annexe 4

Fiche technique MacBook 466

RAM	2048 Mo SDRAM DDR3, 1066 MHz
Système d'exploitation	Mac OS X 10.5 Leopard
Mémoire Cache	3 Mo N2 cache
Processeur	Intel Core 2 Duo, cadencé à 2.0 GHz
Disque dur	160 Go SATA (5400 tours/mn)
Carte graphique	NVIDIA GeForce 9400M, 256 Mo de mémoire SDRAM DDR3 partagés
Type d'écran	Ecran 13,3" rétro-éclairé par LED 1280 x 800 pixels
Lecteur de cartes mémoire	Non
Lecteur optique	SuperDrive 8x à chargement par fente (DVD±R DL/DVD±RW/CD-RW)
USB	2 Ports USB 2.0
Modem/Ethernet	Ethernet Gigabit 10/100/1000BASE-T 1 x RJ-45
FireWire	Non
Sortie TV	Connecteur Mini DisplayPort avec prise en charge des connexions DVI, VGA et DVI double liaison (nécessite des adaptateurs, vendus séparément)
Wi-Fi	Wi-Fi AirPort Extreme 802.11n
Bluetooth	Bluetooth 2.1 + EDR
Carte d'extension	Non
Autres caractéristiques	1 x entrée audio numérique optique / ligne audio analogique (prise minijack) combinée 1 x sortie audio numérique optique / ligne audio analogique (prise minijack) combinée Port d'alimentation MagSafe Fente pour câble antivol Kensington Trackpad Multi-Touch Webcam iSight Haut-parleurs stéréo Microphone omnidirectionnel
Dimensions	325 x 227 x 24 mm
Poids	2,04 kg
Accessoires fournis	Chiffon de nettoyage de l'écran, adaptateur secteur MagSafe de 60 W, prise et cordon d'alimentation, batterie lithium polymère, DVD d'installation et de restauration, documentation aux formats papier et électronique
Logiciels fournis	Mac OS X 10.5 Leopard (inclut Time Machine, Quick Look/Coup d'œil, Spaces, Spotlight, Dashboard, Mail, iChat, Safari, Carnet d'adresses, QuickTime, iCal, DVD Player, Photo Booth, Front Row, Xcode Developer Tools) iLife '08 (inclut iTunes, iPhoto, iMovie, iDVD, iWeb, GarageBand)

Annexe 5

Guide de mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

Editorial

Il ne fait nul doute que dans les années à venir l'écologie va prendre de plus en plus d'importance et ceci pour plusieurs raisons. Premièrement, nous nous trouvons dans une situation où nous ne pouvons plus continuer à puiser indéfiniment dans les ressources de la planète et il faudra donc faire preuve de créativité pour remplacer certaines ressources énergétiques que nous utilisons actuellement. Deuxièmement, il est important que l'homme prenne conscience de l'impact de ses actions sur le délicat équilibre de l'écosystème de notre planète. Ainsi, il faut qu'il prenne des mesures pour préserver autant que possible sa planète, car aujourd'hui, nous observons que notre écosystème se déséquilibre dangereusement, ceci au travers de différents phénomènes, tels que l'augmentation des températures moyennes ou encore la fonte des glaces. Par conséquent, la problématique écologique doit être intégrée dans tous les domaines (économique, social,..), afin que nous rectifions nos erreurs du passé, avant qu'elles ne soient totalement irréversibles.

Les entreprises du domaine des techniques de l'information et de la communication (TICs) ont bien compris les enjeux économiques et écologiques qui se profilent avec la problématique écologique. L'écologie représente une aubaine pour ces dernières, dans la mesure où c'est un segment de marché qui est parfaitement identifiable et qui peut permettre de se démarquer de la concurrence.

Le domaine des TICs, notamment de part les produits toxiques ou les émissions de CO₂ qu'il génère, doit plus que jamais intégrer la problématique écologique dans son développement. Ce guide a pour but de présenter un certain nombre de solutions existantes, qui permettent la mise en place d'un système d'information informatisé qui limite les impacts écologiques. Toute la difficulté de déployer une solution écologique réside dans le fait que l'on doit, autant que possible, trouver un optimum entre les contraintes économiques et écologiques. Toutes les actions industrielles auront toujours un impact négatif sur l'écosystème, mais la contrainte est que ces actions respectent l'équilibre de l'écosystème.

En espérant que ce guide puisse vous aider dans les différentes solutions à déployer pour disposer d'un système d'information informatisé qui soit en adéquation avec vos besoins et l'écologie, je vous souhaite une bonne lecture,

Sébastien Decroux

Sommaire

Editorial	- 2 -
Sommaire	- 3 -
1 Introduction	- 4 -
1.1 Définition d'un système d'information informatisé écologique	- 4 -
1.2 Objectifs du guide.....	- 4 -
1.3 Présentation du guide.....	- 4 -
2 Postes de travail	- 5 -
2.1 Les Besoins matériel	- 5 -
2.2 Achat d'éco-composants.....	- 5 -
2.3 Maximiser la durée du cycle de vie des stations de travail.....	- 7 -
2.4 Gestion de la fin du cycle de vie des stations de travail (recyclage)	- 8 -
2.5 Diminution de la consommation électrique des postes	- 9 -
2.6 Mettre hors tension les appareils.....	- 10 -
2.7 Choisir son système d'exploitation.....	- 10 -
3 Aide à l'achat de composants informatiques	- 11 -
3.1 Conclusion.....	- 12 -
4 Les « data centers ».....	- 13 -
4.1 Diminuer la consommation électrique des « data centers »	- 13 -
4.2 Limiter le nombre de serveurs	- 14 -
5 Télétravail	- 16 -
5.1 Limiter le déplacement de ses collaborateurs	- 16 -
5.2 Mise en place de plateformes collaboratives	- 16 -
5.3 Formation on-line.....	- 16 -
6 Communication.....	- 17 -
6.1 Communiquer sur les mesures écologiques de l'entreprise.....	- 17 -
7 Glossaire	- 18 -
8 Bibliographie.....	- 20 -

1 Introduction

1.1 Définition d'un système d'information informatisé écologique

Avant toute chose, il est important de correctement définir ce qu'est un système d'information informatisé (SII). Un SII est un système ou un sous-système d'équipements informatiques ou de télécommunications interconnectés. De ce fait, un système d'information informatisé écologique (SII-éco) consiste simplement à intégrer la problématique écologique à l'ensemble de son système et à déployer ou mettre à jour un SII qui limite les impacts néfastes sur l'écologie.

Il n'existe pas une seule façon pour rendre son SII écologique, mais un ensemble de solutions à mettre en place, de manière à limiter les impacts écologiques. Toutes ces solutions ont pour effet de rendre plus flexible le déploiement d'un SII-éco, dans la mesure où elles permettent de résoudre quelques problèmes spécifiques à chaque situation.

1.2 Objectifs du guide

La multitude de labels, de directives ou encore de solutions architecturales qui existent a pour effet qu'il est difficile de s'y retrouver lorsque l'on souhaite déployer un système d'information informatisé écologique (SII-éco).

L'objectif de ce guide est de servir de support pour mener à bien la réflexion sur son SII en proposant différentes solutions, qui doivent permettre de limiter les impacts écologiques. Ainsi, il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre l'ensemble des solutions présentées, mais de déterminer lesquelles répondent, au mieux, aux besoins et contraintes de chacun.

1.3 Présentation du guide

Ce guide est constitué de quatre parties qui traitent chacune d'un aspect spécifique pour le déploiement d'un SII-éco.

Dans la deuxième section (Chapitre 2), je discute de la problématique des postes de travail. Cette partie donne quelques conseils pour l'achat de matériel informatique. Elle traite notamment des différents labels ou autres directives écologiques qui existent. On y trouve également diverses solutions logicielles qui permettent de gérer la consommation électrique de l'ensemble des postes de travail d'une entreprise.

Le troisième chapitre est une mise en pratique. Il illustre la manière façon de faire pour trouver du matériel qui soit écologique.

Le quatrième chapitre présente les différentes solutions qui existent pour intégrer la problématique environnementale dans les centres de serveurs.

Ce guide va plus loin que de se limiter à des aspects purement techniques liés à l'informatique, puisque dans les chapitres cinq, il aborde également la question du travail à distance (télétravail). Finalement, vous y trouverez des informations concernant la sensibilisation des utilisateurs.

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

2 Postes de travail

2.1 Les Besoins matériel

Lors de la mise en place d'un système d'information informatisé écologique (SII-éco), il est important d'identifier dans un premier temps :

- les ressources informatiques qui sont disponibles.
- les besoins informatiques supplémentaires pour réaliser le projet.

L'objectif est dans un premier temps de doter les utilisateurs de machines qui correspondent à leur besoins. Deuxièmement, il faut utiliser les diverses ressources inutilisées, de façon à éviter tout achat de matériel informatique superflu. Comme nous le verrons plus tard, les ressources qui ne sont plus utilisées peuvent être mises à niveau, afin de répondre aux besoins identifiés.

Du point de vue écologique, l'utilisation de matériel qui n'est plus utilisé est une solution à préconiser. Economiquement c'est également très intéressant, dans la mesure où cela évite de faire de nouveaux investissements.

2.2 Achat d'éco-composants

L'écologie étant devenue un atout marketing, les fabricants du domaine technologique proposent des composants informatiques et même parfois des ordinateurs qui prennent en compte les impacts écologiques.

Le problème est que pour l'acheteur, il est parfois difficile de s'y retrouver avec les différentes normes ou directives que suivent les constructeurs.

Il existe en effet un grand nombre de normes et de directives. Ces dernières permettent d'identifier un produit conçu en intégrant la problématique écologique. Elles traitent généralement d'une ou de plusieurs thématiques relatives à l'écologie, qui sont:

- La limitation de l'utilisation de produits toxiques dans les composants électroniques
- La diminution de la consommation d'énergie
- La prise en compte de l'impact écologique dans le cycle de vie du composant

2.2.1 Normes et directives

Sans rentrer dans les détails, voici les différentes normes et directives auxquelles un acheteur pourrait être confronté. Vous trouverez dans le glossaire en annexe leur signification.

2.2.1.1 *La limitation de l'utilisation de produit toxique dans les composants électroniques*

Ces directives nous assurent que les composants sont démunis de certains produits toxiques, tel que par exemple le plomb. Ces normes peuvent être appliquées aussi bien à tous les composants électroniques d'un ordinateur (processeur, carte graphique,..) qu'à la structure

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

d'un ordinateur. Ceci afin d'éviter l'utilisation de composants toxiques sur la coque ou dans le revêtement de l'ordinateur.

Les directives les plus reconnues sont :

REACH	http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_fr.htm
ROHS	http://www.rohs.eu/english/index.html

Ces directives s'appliquent sur certaines catégories de produits qui sont commercialisés en Europe. Par conséquent, il faut faire attention à ce que le produit recherché soit bien inclus dans une des catégories de ces directives. Pour connaître les catégories, il vous suffit de vous référer aux sites internet de ces deux directives.

2.2.1.2 La diminution de la consommation électrique

La diminution de la consommation électrique des installations informatiques est, non seulement, un enjeu majeur du point de vue de l'écologie, mais également du point de vue économique pour les entreprises. Ainsi, une attention particulière doit être portée lors de l'achat de nouveau matériel (ordinateurs, écrans, disques durs,..) afin de s'assurer que ce dernier ne soit pas trop gourmand en énergie. Les normes suivantes nous assurent que le matériel a été conçu en optimisant l'efficacité énergétique des composants électroniques ou en limitant la consommation électrique de ces derniers.

On y trouve :

	Energy-using products (EUP)	http://ec.europa.eu/enterprise/eco_design/index_en.htm
	80PLUS	http://www.80plus.org/
	Energy Star	http://www.energystar.gov/

Ces certifications sont les références, à l'heure actuelle, en ce qui concerne la consommation électrique et l'efficacité énergétique des alimentations.

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

2.2.1.3 L'impact écologique dans le cycle de vie

Aujourd'hui il ne suffit plus d'acquiescer du matériel répondant à différentes normes ou directives relatives à son fonctionnement. Petit à petit, les différents acteurs du domaine des TICs prennent en compte les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie, c'est-à-dire de sa conception jusqu'à son recyclage. Ce type de certification, nous assure que les entreprises fabricants les composants ont intégré la problématique environnementale dans l'ensemble des processus du produit.

	Epeat	http://www.epeat.net/
	Blue Angel	http://www.blauer-engel.de/en/index.php
	TCO	http://www.tcodevelopment.com/

Chacune de ces adresses internet permet d'aller sur les différents sites internet de ces normes. Vous pouvez ensuite avoir accès aux bases de données qui recensent le matériel informatique qui a atteint les objectifs de ces normes.

2.3 Maximiser la durée du cycle de vie des stations de travail

Une gestion optimale du cycle de vie du matériel informatique permettra à l'entreprise de diminuer ses investissements destinés à l'achat de nouveau matériel à moyen terme. Comme nous le verrons, le cycle de vie d'une machine est fortement influencé par le système d'exploitation qu'il utilise.

L'optimisation passe également par l'achat de matériel évolutif, c'est-à-dire du matériel où l'on peut changer un composant si besoin est sans devoir racheter une station. Par conséquent, dans une démarche écologique, telle que l'optimisation il faut impérativement éviter l'achat de systèmes tout en un, comme par exemple, un écran indissociable de l'ordinateur.

2.4 Gestion de la fin du cycle de vie des stations de travail (recyclage)

Cette tâche n'est plus nécessairement du ressort de l'acheteur. En effet, lors de l'achat de matériel informatique (ou de manière plus générale d'électronique) une taxe a été ajoutée sur les produits. Cette taxe doit permettre de faciliter le recyclage du matériel informatique. Ainsi, la gestion du recyclage est à la charge du revendeur ou du fabricant.

Néanmoins, l'acheteur peut influencer la gestion de la fin du cycle de vie de son matériel, en acquérant du matériel écologique. Dès le moment où les composants choisis contiennent peu de substances toxiques, le processus de recyclage n'en est que plus aisé.

Outre le recyclage, il est possible de remettre son ancien matériel en circulation. Ceci peut se faire au travers de différents programmes tels que :

Association Pour la Promotion de l'Informatique en Afrique	http://www.web-africa.org/
Réalise (Genève)	http://www.realise.ch/index.html

2.5 Diminution de la consommation électrique des postes

La gestion électrique des postes de travail peut être contrôlée par l'intermédiaire de divers logiciels disponibles sur le marché. Ces derniers proposent plusieurs solutions pour optimiser la consommation des postes de travail. L'avantage de ces logiciels est que l'on va pouvoir paramétrer une gestion spécifique de la consommation qui sera généralisée à chaque poste de travail. De ce fait, on automatise le processus de gestion de l'énergie. De plus, ces diverses solutions offrent la possibilité de pouvoir contrôler, en temps réel, la consommation de son parc informatique.

Voici une liste non-exhaustive des différentes possibilités qui existent en matière de logiciels de gestion de l'énergie des postes de travail :

Editeur	Produit	Descriptif
Avitis	Avitis www.avitis.net	<ul style="list-style-type: none"> Analyse l'usage et la consommation effective des postes de travail et imprimantes. Optimise le cycle de vie des stations et permet ainsi une meilleure planification pour le renouvellement du parc informatique.
BONA	Greenscan www.bona.com	<ul style="list-style-type: none"> Outil d'inventaire de parc, qui remonte les informations de consommation. Identifie les économies d'énergies potentielles des postes en interrogeant ces derniers. Visualise la consommation d'énergie de chaque poste, département ou filiale.
Criston	Green IT www.criston.com	<ul style="list-style-type: none"> Permet de faire l'inventaire des postes et de leur consommation Mise en place d'un plan de stratégie d'économie d'énergie pour les postes de travail Sensibilisation de l'utilisateur final (communication)
Faronics	Powersave www.faronics.com	<ul style="list-style-type: none"> Gestion intelligente de la consommation électrique Génération en temps réel de rapports d'énergie Planification des paramètres d'activités en fonction des Use Cases
Kaseya	User State Management www.kaseya.com	<ul style="list-style-type: none"> Paramètres énergétiques Mappages des lecteurs Mappages des imprimantes
Verdiem	Surveyor www.verdiem.com	<ul style="list-style-type: none"> Evalue, gère et réduit la consommation d'énergie
Visionsoft	Power Out 5 www.visionsoft.com	<ul style="list-style-type: none"> Détection des PC dans le réseau Création de profils d'alimentation Déploiement des profils d'alimentation et reporting

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

2.6 Mettre hors tension les appareils

Ce n'est certainement pas la solution la plus originale ou celle qui demande le plus d'investissement en temps et en argent, mais la mise hors tension des périphériques est un réel geste écologique et économique que l'on oublie trop souvent. En effet, un ordinateur ou un écran éteint reste sous tension tant qu'il est branché électriquement. Par exemple, on observe qu'un écran arrêté, mais toujours sous tension, consomme entre 2 et 3 Watts.

Une solution adéquate est d'utiliser des multiprises avec des interrupteurs, de telle manière à mettre l'ensemble hors tension avec un simple geste.

2.7 Choisir son système d'exploitation

Le choix du système d'exploitation a également des répercussions sur le cycle de vie des ordinateurs. Il faut savoir que l'exigence accrue en performances des systèmes d'exploitation de Microsoft conduit à une diminution du cycle de vie des ordinateurs. Il faut ainsi mener une analyse qui permette de décider quel est le système d'exploitation qui est le plus adéquat dans le cadre de travail de l'entreprise. En effet, du point de vue, écologique, la solution idéale serait l'utilisation de systèmes d'exploitation libres du type d'Ubuntu, Debian ou autre. Ces derniers ne nécessitent pas l'utilisation de machines très performantes pour assurer un fonctionnement optimal pour de nombreuses applications couramment utilisées dans les activités humaines modernes.

3 Aide à l'achat de composants informatiques

Les différents labels et autres directives qui existent sur le marché des technologies de l'information et de la communication (TICs) ont été décrites au chapitre précédent. Néanmoins, la grande difficulté pour l'acheteur est de s'y retrouver dans ces diverses certifications lors de l'acquisition de matériel écologique.

Voici deux cas de figure possibles:

1. L'acheteur a identifié un composant certifié avec un label écologique qu'il souhaite acquérir.
2. L'acheteur souhaite acquérir un composant écologique.

Dans le premier cas, l'acheteur a déjà identifié un ou plusieurs produits estampillés d'une certification écologique. La difficulté consiste à différencier les produits entre eux avec comme critère de différenciation leur label écologique. La première chose à faire est de contrôler si le label du produit fait partie de la liste de normes citée précédemment. Si ce n'est pas le cas, il serait judicieux de se renseigner sur la certification en question. Dans le cas où les composants seraient tous certifiés avec les normes citées dans ce guide, la différenciation est difficile, car il n'existe pas un classement des meilleures normes. C'est donc de la responsabilité de l'acheteur de choisir la norme qui lui semble la plus adéquate, sachant que bien souvent les normes n'évaluent pas les mêmes impacts et que les critères sont différents.

Le second cas de figure sera illustré par deux exemples concrets de la façon dont le problème pourrait être résolu.

Prenons un acheteur qui souhaite acquérir un serveur. Aujourd'hui, une des problématiques écologique des serveurs est leur consommation d'énergie. Une solution est donc d'acquérir un serveur qui respecte les standards d'énergie, comme par exemple ceux qui sont garantis par le label Energy Star.

En se rendant à l'adresse : <http://www.eu-energystar.org/fr/database.htm>, on peut lister l'ensemble des serveurs répondant aux critères énergétiques du label Energy Star. Il peut donc acquérir par exemple le modèle : « Fujitsu PRIMERGY TX100 S1E-STAR5 ».

On peut répéter cette action avec les écrans, les portables ou encore les stations de travail avec la norme Energy Star.

Imaginons maintenant qu'un acheteur souhaite acquérir une station de travail qui limite les impacts environnementaux sur l'ensemble de son cycle de vie. La première étape est donc de sélectionner une des normes qui traite du cycle de vie. Prenons par exemple la norme allemande Blue Angel. Deuxièmement, rendons-nous sur le site internet : <http://www.blauer-engel.de/en/index.php> . Une page contenant toutes les stations de travail remplissant les critères de la certification Blue Angel s'affiche.

Prenons par exemple le modèle « OptiPlex 960 DT DCNE Desktop Socket: LGA 775; Processor: Intel E8400 DualCore ».

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

3.1 Conclusion

Les divers outils mis en place pour la recherche de matériel informatique écologique fonctionnent bien et surtout sont à jour avec le nouveau matériel disponible sur le marché. Néanmoins, ils ne permettent pas la recherche de simples composants informatiques, tels que des routers, des disques durs ou encore de la mémoire. Pour le moment aucune certification n'existe dans ces domaines précis. L'acheteur doit donc s'informer sur le matériel qu'il souhaite acquérir, afin de s'assurer que ce dernier a été développé en limitant les impacts environnementaux. Vu l'ampleur que prend l'écologie dans l'informatique, il ne fait aucun doute que d'ici peu de temps, tout le matériel informatique sera certifié.

4 Les « data centers »

Les coûts engendrés par le fonctionnement d'un « data center » peuvent parfois devenir un frein à l'expansion d'une entreprise. En effet, les serveurs sont de très gros consommateurs d'énergie et ils requièrent des systèmes de refroidissement très performants et complexes pour en assurer leur bon fonctionnement. C'est la raison pour laquelle il convient de mener une réflexion pointue sur ses besoins exacts en termes de performance et déployer une architecture, tant logicielle que matérielle, qui soit conforme à ses besoins.

4.1 Diminuer la consommation électrique des « data centers »

La diminution de la consommation électrique des « data centers » peut se faire par l'intermédiaire de plusieurs solutions :

4.1.1 Le refroidissement par les faux planchers

Dans un data center, les faux planchers servent en règle générale à faire passer les divers câbles. En optimisant son architecture, on peut également installer des conduits d'air, de telle manière à faire passer l'air frais. On va mélanger l'air froid avec l'air chaud et ainsi optimiser le refroidissement des salles de serveurs.

4.1.2 Isoler les racks

Une bonne isolation entre les différents racks permet d'empêcher la propagation de la chaleur émise par un équipement à un autre. Grâce à cette isolation, on ne refroidira que les équipements en fonction et non pas tous les équipements du rack.

4.1.3 Installer des rangées d'air chaud et d'air froid

Il faut impérativement empêcher que l'air chaud émis par les équipements (serveurs) en fonction se mélange à l'air froid émis par les systèmes de refroidissement. Ainsi, il faut canaliser l'air chaud pour qu'il soit évacué à l'extérieur des systèmes de refroidissement.

4.1.4 Installer des ventilateurs à vitesse variable

L'installation de ventilateurs à vitesse variable permet d'autoréguler l'évacuation de l'air des équipements en fonction des besoins. D'après les fabricants de matériel, une réduction de 10% de la vitesse d'un ventilateur permet une économie d'énergie de l'ordre de 27% sur la consommation.

4.1.5 Mise en place d'autres systèmes de refroidissement

Aujourd'hui une méthode de refroidissement alternative à l'utilisation d'unités de refroidissement (climatisations,..) existe. Cette dernière est appelée « free cooling ». Cette technique va utiliser de l'eau ou de l'air pour refroidir les équipements. Par exemple, pour les « data centers » situés près de réserves d'eau, la solution consiste à aller extraire de l'eau en profondeur pour refroidir les systèmes. Cette technique est très bonne du point de vue énergétique, elle permet de limiter les impacts écologiques, même si elle peut amener d'autres problèmes écologiques, comme par exemple perturber l'écosystème des animaux marins.

4.1.6 Installation de capteurs de chaleur

L'installation de capteurs de chaleur permet aux responsables de la surveillance des « data centers » de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes de refroidissement et ainsi de pouvoir améliorer les systèmes de refroidissement pour les rendre plus efficaces.

4.1.7 Utilisation de systèmes de refroidissement modulaires

Au lieu de maintenir une salle entière à une certaine température, on va uniquement refroidir les conteneurs contenant les serveurs. De ce fait, le gain énergétique est considérable, car on ne refroidit que les conteneurs en fonction et non plus la totalité du data center.

4.2 Limiter le nombre de serveurs

La limitation du nombre de serveurs à déployer passe par deux solutions distinctes :

- La virtualisation
- « Le cloud computing »

4.2.1 La virtualisation

La virtualisation consiste à faire fonctionner différents Systèmes d'exploitation (OS) sur un seul serveur. De cette façon, malgré les besoins spécifiques pour chaque application, on pourra tout regrouper sur un serveur (dans la mesure des besoins). La virtualisation permet donc d'optimiser l'utilisation des installations existantes.

Les avantages de la virtualisation :

- Réduction du nombre de serveurs
- Optimisation de l'utilisation des serveurs

Inconvénients de la virtualisation

- Pertes importantes en cas d'arrêt d'une machine
- Performance variable en fonction de la technologie déployée

Pour plus d'informations sur la virtualisation :

<http://www.vmware.com/fr/virtualization/>

<http://www-03.ibm.com/systems/fr/itsolutions/virtualization/>

<http://www.oracle.com/us/technologies/virtualization/index.htm>

4.2.2 Le « cloud computing »

Le « cloud computing » consiste à externaliser une partie de ses besoins en application vers des compagnies qui offrent gratuitement, ou à bas prix, ce type de service.

Les avantages du « cloud computing » :

- Externalisation des infrastructures serveurs
- Diminution des coûts liés au fonctionnement des « data centers »

Inconvénients du « cloud computing »

- La latence du réseau peut réduire la performance des applications
- Sécurité des données

Pour plus d'informations sur le « cloud computing » :

<http://www.sun.com/solutions/cloudcomputing/index.jsp>

<http://aws.amazon.com/>

<http://code.google.com/intl/fr/appengine/>

4.2.3 Conclusion

Finalement nous sommes en présence de deux approches (la virtualisation et le « cloud computing ») différentes qui permettent, toutes les deux, d'alléger l'infrastructure serveur existante. Le choix entre l'une ou l'autre de ces deux techniques s'effectue en fonction de ses contraintes spécifiques. Toutefois, quels que soient ses besoins, la mise en pratique de l'une de ces technologies aura des effets bénéfiques sur l'environnement.

5 Télétravail

Le télétravail (travail à distance) est une activité qui va certainement prendre de plus en plus d'importance ces prochaines années. En effet, on peut faire l'hypothèse qu'avec l'augmentation des carburants, ainsi que du peu de sources alternatives d'énergie fiables dont nous disposons, les déplacements des collaborateurs dans les entreprises seront limités au strict minimum. Le problème est qu'aujourd'hui les entreprises ont des succursales dans divers lieux géographiques. Il est donc inimaginable de limiter les communications entre les différentes succursales. Par conséquent, il faut développer des solutions qui permettent de maintenir une communication et une collaboration à distance, tout en limitant les déplacements de personnes.

5.1 Limiter le déplacement de ses collaborateurs

La limitation des déplacements des collaborateurs n'aura pas d'impact direct sur le bilan énergétique d'une entreprise. Néanmoins, elle limitera les émissions de gaz carbonique engendrées par le transport des collaborateurs. Ainsi, dans la mesure du possible et sans que cela ne perturbe la productivité de l'entreprise, la mise en place d'outils de visioconférences va participer à une amélioration de la situation écologique.

5.2 Mise en place de plateformes collaboratives

La mise en place de plateformes collaboratives permet de limiter les déplacements des collaborateurs. En effet, ces plateformes permettent à des employés du monde entier de collaborer, de communiquer ou encore de partager des données à distance. De cette manière, on limite les déplacements et les impacts écologiques qui en résultent.

5.3 Formation on-line

Il a toujours été coutume de rassembler les divers employés d'un département spécifique pour leur permettre de suivre des formations complémentaires. Dans une approche écologique, on évitera de déplacer tous les employés en un même lieu pour suivre une formation. On privilégiera les solutions de formation on-line, de telle manière à limiter les déplacements de chacun.

6 Communication

La communication de la mise en place d'une infrastructure informatique est sans doute l'aspect le moins glorieux du processus, mais qui reste néanmoins primordial.

6.1 Communiquer sur les mesures écologiques de l'entreprise

Dans un premier temps, il convient de correctement communiquer sur la politique menée par l'entreprise sur son engagement global vis-à-vis de l'écologie. Après quoi, il faut mener une communication sur les différents secteurs qui seront ajustés pour les rendre aussi écologiques que possible.

La communication se jouera sur deux niveaux, en interne dans un premier temps, pour sensibiliser les employés à la politique menée par l'entreprise et aux différentes solutions qui seront mises en place au niveau du SII. On reprendra les quatre thématiques abordées dans ce guide en organisant des réunions ou de visioconférences avec le personnel et en utilisant tous les différents moyens de communications (journal interne, affichage, mails communs) dont dispose l'entreprise pour faire connaître les efforts entrepris par la direction.

Le second plan consiste à communiquer en externe, de manière à montrer que son entreprise entreprend une démarche écologique.

7 Glossaire

7.1.1 Analyse de Cycle de Vie (AVC)

Une analyse de cycle de vie (AVC) est un moyen d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service.

7.1.2 Energy Star

Le label Energy Star a pour objectif de promouvoir l'efficacité énergétique des appareils électriques.

7.1.3 Epeat

Epeat est un programme proposant un outil qui permet aux entreprises d'évaluer et de comparer du matériel informatique en fonction de leurs caractéristiques écologiques. Epeat va couvrir autant les aspects relatifs à la consommation électrique des appareils, que de l'éco-conception.

7.1.4 80 PLUS

80 Plus est un programme qui vise à augmenter l'efficacité énergétique des alimentations électriques du matériel électrique.

7.1.5 GREENGUARD

Greenguard Environmental Institute est une organisation indépendante et sans profit qui décerne des certifications quand à la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments.

7.1.6 TCO

TCO est une certification essentiellement pour les écrans d'ordinateurs et ce même si elle permet aujourd'hui de certifier d'autres périphériques tels que les claviers, les ordinateurs, les téléphones mobiles ainsi que les imprimantes.

7.1.7 ISO – 14001

La norme ISO 14001 provient de la série des normes 1400. Cette série de norme concerne le management environnemental.

7.1.8 REACH

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction Chemicals) est un règlement applicable au sein de la communauté européenne. Il vise à mieux protéger la santé humaine et l'environnement vis-à-vis de matériaux chimiques utilisés dans la fabrication de certains biens de consommation.

Cette réglementation contraint les entreprises (fabricants, importateurs, entreprises de transformation) à enregistrer et à évaluer leurs substances chimiques.

7.1.9 ROHS

ROHS signifie Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment. Cette directive européenne vise à limiter l'utilisation de substances dangereuses.

7.1.10 Energy-using products (EUP)

C'est une directive de l'union européenne visant à réduire la consommation électrique des appareils, cet objectif peut être atteint si les appareils électroniques sont développés en appliquant les principes d'éco-conception.

7.1.11 Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

C'est une directive européenne qui a vise à rendre obligatoire la valorisation des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) et ainsi responsabiliser les fabricants.

8 Bibliographie

Publications

KOOMEY Jonathan G. *Estimating Total Power Consumption By servers in the US and the World*. Stanford University. Février 2007. 20p.

PriceWaterHouseCoopers. *Going green: Sustainable growth strategies*. USA. Février 2008. 70p.

MINES Christopher. *The Dawn of Green IT Services*. USA. Février 2008. 18p.

01Informatique. *La lente éclosion de la Green IT*. Paris : Groupe Tests. Juin 2009. 70p.

Articles

DUPONT Benoît. *Ecrans : toute la vérité sur leur consommation*. In : Site *èreNumerique* [en ligne]. Publié le 02.04.2008.

http://www.erenumerique.fr/ecrans_toute_la_verite_sur_leur_consommation-art-1951-1.html .

SERRIES Guillaume. *Le cloud computing, l'informatique de demain*. In : Site *Journal du net* [en ligne]. Publié le 26.03.2008. <http://www.journaldunet.com/solutions/systemes-reseaux/analyse/le-cloud-computing-l-informatique-de-demain.shtml>

Dandumont Pierre. *Le choix du disque dur et la consommation*. In : Site *présence PC* [en ligne]. Publié le 25.04.2008.

http://www.erenumerique.fr/ecrans_toute_la_verite_sur_leur_consommation-art-1951-1.html .

SERRA Yann. *Les logiciels seront-ils un jour écologiques*. In : Site *01 informatique* [en ligne]. Publié le 05.06.2008. <http://www.01informatique.fr/Archives/Les-logiciels-seront-ils-un-jour-ecologiques/>.

Sites internet

The Blue Angel. *Site de l'association Blue Angel (certification)* [en ligne].

<http://www.blauer-engel.de/en/index.php>

HQE. *Site de l'association pour la haute qualité environnementale (certification)* [en ligne].

<http://www.assohqe.org/>

Energy Star. *Site d'introduction au programme européen Energy Star (certification)* [en ligne].

<http://www.eu-energystar.org/fr/index.html>

Epeat. *Site d'introduction au programme Epeat (certification)* [en ligne].

<http://www.epeat.net/>

Guide pour la mise en place d'un système d'information informatisé en harmonie avec l'environnement

80Plus. *Site du programme 80Plus (certification)* [en ligne].

<http://www.80plus.org/>

GreenGuard. *Site du programme GreenGuard (certification)* [en ligne].

<http://www.greenguard.org/>

TCO. *Site du programme TCO (certification)* [en ligne].

<http://www.tcodevelopment.com/>

ISO. *Site de présentation des fondements de la série de normes ISO 14000 (certification)* [en ligne].

http://www.iso.org/iso/fr/iso_14000_essentials

UE. *Site de présentation de la directive REACH* [en ligne].

http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm

EU. *Site de présentation de la directive RoHS* [en ligne].

<http://www.rohs.eu/english/index.html>

EU. *Site de présentation de la directive Energy Using products* [en ligne].

http://ec.europa.eu/enterprise/eco_design/index_en.htm

IBM. *Site de présentation de l'implication dans l'écologie d'IBM* [en ligne].

<http://www-05.ibm.com/ch/ibm/fr/umwelt/produkte/>

Dell. *Site de présentation de l'implication dans l'écologie de Dell* [en ligne].

<http://content.dell.com/us/en/corp/dell-earth.aspx>

INTEL. *Product Ecology and Recycling* [en ligne].

http://www.intel.com/intel/other/ehs/product_ecology

GUIDE INFORMATIQUE. *Site Refroidissement haute performance des data center* [en ligne].

http://www.guideinformatique.com/fiche-refroidissement_haute_performance_des_data_centers-847.htm

VMWARE. *Site d'introduction à la virtualisation* [en ligne].

<http://www.vmware.com/fr/virtualization/> (Consulté le 30.08.2009)