

# Numérique : 1. Environnement : 0.

## Avec EcoInfo, changeons nos pratiques

### Françoise BERTHOUD

LPMMC / EcoInfo  
25 av des martyrs  
38000 Grenoble

### Laurent Lefevre

Inria / Laboratoire LIP  
Ecole Normale Supérieure de Lyon  
46 allée d'Italie – 69364 Lyon

### Marianne Parry

Arts et Métiers Chambéry  
Savoie Technolac – 4 rue du Lac Majeur  
73375 Le Bourget du Lac

## Résumé

*2015 : la France préside la 21e Conférence des Nations unies sur les changements climatiques*

*2015 : EcoInfo, récemment transformé en groupement de service, a 10 ans*

*2015 : les informaticiens se retrouvent aux JRES !*

*Une telle conjonction est une occasion unique pour imprimer dans ces JRES 2015 une empreinte Écoresponsable. Paris accueille la conférence sur le climat et nous, informaticiens, resterions en dehors des initiatives et des solutions pour lutter contre les bouleversements climatiques ?*

*Non ! D'autant que les retours d'expérience se multiplient. Alors aujourd'hui, nous avons choisi de donner de la visibilité à vos bonnes pratiques, celles qui se mettent en place dans le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche. Alors montez dans le train avec ceux qui y sont déjà et donnons ensemble un coup d'accélérateur à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et autres polluants en tout genre !*

*Prise en compte de critères relatifs au développement durable dans nos achats, gestion de l'énergie de nos salles informatiques, éco-conception des data-centres quelle que soit leur taille, gestion des déchets : les frontières de nos métiers se déplacent. Le temps où les informaticiens avaient les yeux rivés à l'écran et les mains collées au clavier est révolu, aujourd'hui, les bonnes pratiques émergent et commencent à se répandre. Aujourd'hui, des chercheurs n'ignorent plus les impacts des TICs sur l'environnement. Cette présentation se veut un catalyseur d'échanges autour d'un objectif commun : participer au mouvement COP21.*

## Mots-clefs

TIC, environnement, pollution, énergie, épuisement ressources.

### 1 Introduction

2015 : l'année de la conférence sur le climat à Paris ; 2015 : le groupe EcoInfo, transformé récemment en groupement de service, a 10 ans ; 2015 : une année JRES !

Une telle conjonction d'événements est une occasion unique pour imprimer dans ces JRES 2015 une empreinte éco-responsable positive. Dans le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche, la question de la rencontre entre l'informatique et l'environnement trouve toujours la même réponse : l'informatique constitue un outil d'excellence pour mesurer, simuler, modéliser, stocker et analyser des données dans les sciences de l'environnement. L'informatique concourt donc à nous donner une meilleure connaissance du réchauffement climatique et autres impacts environnementaux. C'est une réalité incontestable. Mais ce n'est pas une raison pour gaspiller de l'énergie ou d'autres ressources, pour jeter le matériel usager sans respecter la réglementation, *etc.* D'autant plus que l'informatique et l'ensemble des TICs ont aussi leur part dans ces problématiques. En réalité, si la question a longtemps été ignorée, les choses commencent à changer et même si le moteur de ce changement reste bien souvent financier, il nous paraît important d'en montrer les vertus dans ce contexte d'enjeux majeurs. Aussi, nous proposons dans cet article de mettre en regard les questions d'épuisement de ressources non renouvelables, de pollution et d'émission de gaz à effet de serre avec les bonnes pratiques développées par nos services informatiques. Dans une première partie nous montrerons comment l'allongement de la durée de vie des équipements et un engagement du groupement d'achat Matinfo contribuent à limiter les problématiques liées à la production des équipements informatiques. Dans un second temps, nous présenterons des exemples de démarche éco-responsable relatifs à l'usage des équipements et enfin nous aborderons la question des déchets électroniques au travers d'un exemple de gestion de Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) dans une université.

### 2 On achète mais pas n'importe quand et pas n'importe comment !

#### 2.1 Des records en termes de durée de vie des équipements informatique

Nous avons enquêté<sup>1</sup> sur la durée d'utilisation (avant la mise au rebut) des équipements informatiques. Les données chiffrées dans le [Tableau 1](#) portent sur une petite centaine de sites, chaque site représentant entre cent et plusieurs milliers d'utilisateurs.

Type d'équipement	Durée d'utilisation moyenne
Postes fixes	Pour 78% des sites, entre 6 et 8 ans
Ordinateurs portables	Pour 66% des sites, entre 5 et 7 ans
Imprimantes	Pics à 5 ans, 8 ans puis au-delà de 10 ans
Serveurs	Pour 63% des sites entre 6 et 8 ans et plus de 10 ans pour 24% des sites
Éléments réseau	Un petit pic à 7, 8 ans et 72% au-delà de 10 ans

Tableau 1 - Durée d'utilisation moyenne des TICs des établissements d'enseignement supérieur

<sup>1</sup>Enquête réalisée par EcoInfo entre mi février et fin avril 2015 auprès des établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche, par l'intermédiaire des Administrateurs Systèmes et Réseaux principalement.

Les durées d'utilisation indiquées ne présupposent pas que l'équipement a fait l'objet d'un seul usage. Il est possible par exemple que les postes fixes d'utilisateur basculent vers une salle commune à un moment donné. Quoi qu'il en soit ces valeurs sont nettement supérieures aux moyennes nationales (4 ans pour un ordinateur, 4 ans pour une imprimante selon une étude de l'ADEME [1] réalisée en 2012). Même si les motivations premières sont budgétaires, des pratiques qui permettent de prolonger la durée de vie de ces équipements hors contrat de maintenance se sont développées : installation de distributions linux plus performantes sur des équipements anciens, adéquation de l'offre aux réels besoins, mise en place de solution de redondance légère, *etc.* Compte tenu des enjeux environnementaux liés à la fabrication de nouveaux équipements, ces pratiques méritent d'être soulignées dans le sens où elles permettent l'« économie » de grandes quantités de métaux rares et précieux : or, argent, palladium, cuivre, indium, germanium, néodyme, *etc.* Le [Tableau 2](#) permet de se faire une idée plus précise des gains ainsi réalisés, en se basant sur l'hypothèse suivante<sup>2</sup> : évitement de 1000 équipements du fait de l'allongement de leur durée de vie (doublement de la durée de vie).

Métal	Pour 1000 postes de travail avec un écran 17" (kg)
Or	1,76
Cuivre	2524,30
Plomb	267,01
Nickel	1260,40
Palladium	0,01
Argent	3,92
Indium	0,19

Tableau 2 - Pour quelques métaux, quantités économisées par doublement de la durée d'utilisation moyenne de 1000 PC avec leur écran (passage de 4 à 8 années).

Pour l'or, l'argent, le palladium et le cuivre, les gains ne sont évidemment pas nets puisque une partie de ces métaux sera récupéré au recyclage ... à condition que le recyclage soit correctement effectué. Et il ne faut pas oublier que tout recyclage entraîne une perte de matière (par exemple le recyclage de l'aluminium, même avec les meilleures techniques actuelles ne permet de réintroduire dans le circuit de la fabrication que 88% de l'aluminium récupéré dans les déchets<sup>3</sup>). Le cas de l'indium est différent parce que son taux de recyclage actuel est inférieur à 1% (il n'existe pas de techniques permettant à une échelle industrielle de récupérer l'Indium dans les écrans LCD), comme la plupart des métaux rares. Soulignons enfin que seuls quelques métaux ont été présentés dans ce tableau, alors qu'un ordinateur ou une tablette en contiennent plusieurs dizaines dont la majorité ne sera jamais recyclée. En effet, seuls 17 métaux au maximum font l'objet d'un recyclage, et ce résultat n'est obtenu actuellement que dans l'une des 5 usines mondiales capables de traiter à un haut niveau de performance les cartes électroniques.

## 2.2 Des critères Développement Durable pour les achats dans le cadre du groupement d'achat Matinfo

<sup>2</sup> Ces calculs ont été réalisés à partir des données de la base Ecoinvent version 3 avec la méthode ILCD 2011 Midpoint pour l'analyse des impacts.

<sup>3</sup> Estimation calculée dans le cadre d'un travail de recherche en cours par Rachel Horta (EcoInfo).

Les équipements disponibles dans le cadre du marché Matinfo ont fait l'objet d'une attention particulière par rapport à certains critères relatifs au développement durable (DD). A noter que le poids du DD représentait 15% de la note totale, ce qui est loin d'être négligeable et en tout cas cela représente une meilleure prise en compte de ces aspects puisque le précédent marché avait fixé le critère DD à 10%. Nous ne citons ci-dessous que quelques exemples que vous pourriez utiliser dans vos propres achats le cas échéant :

- L'écolabel EPEAT®<sup>4</sup> qualifie des produits électroniques écoconçus sur les catégories de critères suivants :

- 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
- économie d'énergie
- recyclage
- emballage

La totalité des postes fixes et des ordinateurs portables du marché sont labellisés EPEAT® (donc energy star® et donc 80plus®). Cet écolabel n'existe pas encore pour les serveurs mais il est en cours de définition et devrait être utilisable dès 2016.

- l'écolabel EnergyStar®<sup>5</sup> et donc 80plus®<sup>6</sup> est une obligation pour tous les serveurs proposés dans le marché. A noter que le label EnergyStar® assure d'une façon peu contraignante une relative efficacité énergétique alors que le label 80plus® assure un minimum de 80% d'efficacité énergétique du boîtier d'alimentation. La plupart des serveurs sont proposés avec l'option 80plus® gold, voire 80plus® titanium, ce qui correspond à des exigences d'efficacité supérieures pouvant aller jusqu'à 96%).

Outre ces écolabels, les fournisseurs ont été sollicités pour répondre à un questionnaire assez complet par rapport à leur politique générale de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre, par rapport à leur politique de recyclage et aux moyens mis en place pour notre communauté (voir à ce sujet un guide<sup>7</sup> qui précise les modalités de recyclage pour chaque fournisseur). Le groupement Matinfo a évalué les connaissances des fournisseurs sur les taux de recyclage des équipements mis sur le marché, sur la provenance des métaux utilisés dans le processus de fabrication (notamment par rapport aux conflits liés au coltan) *etc.*

Sur tous ces points, les fournisseurs dans le marché actuel sont les moins mauvais de l'ensemble des fournisseurs ayant répondu à l'appel d'offre. Nous utilisons l'expression « moins mauvais » à dessein parce qu'il y a clairement une grande marge de progression, même si la différence entre les moins mauvais et les plus mauvais est réellement très significative.

On peut également signaler que certains fournisseurs du marché commencent à réfléchir aux impacts du transport puisque, dans le cadre de Matinfo, des équipements convoyés par voie maritime au lieu du transport aérien habituel sont proposés.

Dernier point, si la fabrication d'un équipement électronique est la partie de son cycle de vie<sup>8</sup> qui concentre la majorité des impacts, il est important d'assurer une durée de vie du produit telle qu'il a été indiqué plus haut dans cet article en proposant des garanties longues. A ce titre, la majorité des équipements proposés dans Matinfo, à l'exception de certaines tablettes, ont une garantie de base de

---

4 Cf <http://ecoinfo.cnrs.fr/article40.html>

5 Cf <http://ecoinfo.cnrs.fr/article43.html>

6 Cf <http://ecoinfo.cnrs.fr/article44.html>

7 [http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/guide\\_pratique\\_deee\\_ens\\_sup\\_recherche.pdf](http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/guide_pratique_deee_ens_sup_recherche.pdf)

8 Le cycle de vie d'un équipement comprend toutes les étapes de sa vie : depuis l'extraction des métaux jusqu'au traitement de fin de vie en passant par sa fabrication, les transports et son utilisation.

3 ans pouvant être prolongée à 5 ans, voire même 7 ans dans le cas des serveurs. La durée de disponibilité des pièces est en rapport avec ces durées.

### **3 Quand l'efficacité énergétique s'invite dans les data-centres des instituts de recherche et d'enseignement**

Les data-centres hébergent un ensemble de services informatiques de plus en plus virtualisés qui est un prolongement naturel de l'informatique en nuage («*clouds*») dans les instituts de recherche et d'enseignement. Ces services sont aussi indispensables pour le stockage de données à grande échelle et comme moyens de calculs massivement parallèles. Grosses consommatrices d'énergie à cause de la densité d'équipements qu'elles hébergent, ces salles machines doivent être optimisées en termes d'infrastructures physiques et informatiques afin de réduire leurs coûts et impacts environnementaux.

#### **3.1 Concevoir des data-centres éco-responsables : la course au PUE de 1.0 !**

La consommation énergétique est le principal facteur limitant la création de nouveaux data-centres. Ainsi, le code de conduite européen informe et motive les hébergeurs de salles machines en les accompagnant et conseillant dans une démarche de réduction de la consommation énergétique sans impacter la qualité de service rendue aux utilisateurs [2][3]. De nombreuses métriques ont été proposées afin de quantifier l'efficacité énergétique des data-centres. La plus connue (et la plus controversée) est le PUE (*Power Usage Effectiveness*) qui calcule le ratio entre l'énergie totale consommée par le data-centre et l'énergie qui est consommée par les ressources informatiques (calcul, stockage, réseau). Avoir un PUE de 1.0 signifie que l'infrastructure du data-centre (refroidissement, éclairage...) ne coûte rien en termes d'énergie ! Cette métrique n'indique rien en revanche sur l'efficacité énergétique des ressources informatiques !

La prise en compte de la consommation énergétique du refroidissement, nécessaire au bon fonctionnement des moyens informatiques, est un des critères essentiels pour la création de nouveaux data-centres. On observe actuellement le déploiement de 3 technologies qui ont des intérêts en termes d'efficacité énergétique : le refroidissement par eau tiède (*watercooling*), par air ambiant (*freecooling*) et par immersion dans un bain d'huile (*immersive cooling*). En 2013, l'Université Joseph Fourier de Grenoble a déployé le centre de calculs Froggy<sup>9</sup> qui repose sur un refroidissement à l'eau tiède. Froggy supporte ainsi des applications scientifiques dans tous les domaines (physique, astronomie, biologie, géophysique, chimie) avec une infrastructure au PUE de 1.1. Début 2015, la nouvelle salle machine de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne a été mise en activité en utilisant un refroidissement à base de *freecooling*. Elle permet ainsi un hébergement efficace de serveurs de calculs et de machines de services. Ces deux infrastructures utilisent un refroidissement adiabatique qui permet d'abaisser la température de l'air par évaporation. Pour être encore plus efficaces, ces nouvelles infrastructures doivent être combinées avec la mise en place de nouvelles politiques d'usage (par exemple élévation de la plage de température de fonctionnement des serveurs<sup>10</sup>).

#### **3.2 De la mutualisation à l'explosion des architectures : quels impacts sur les services et les infrastructures ?**

Les data-centres font face à deux vagues de restructuration. La première concerne la mutualisation et réduction du nombre de salles machines afin de réduire les coûts d'hébergements. Si elle est bien

---

<sup>9</sup> Machine Froggy : <http://ecoinfo.cnrs.fr/article335.html>

<sup>10</sup> Guide ASHRAE : [http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae\\_2011\\_thermal\\_guidelines\\_data\\_center.pdf](http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae_2011_thermal_guidelines_data_center.pdf)

maîtrisée, cette approche façon « *cloud* » permet la mise en place de solutions de partage des ressources informatiques plus efficaces en évitant la sous-utilisation.

A l'opposé, on observe une explosion de l'architecture data-centre c'est-à-dire que les serveurs ne sont plus concentrés sur un seul lieu physique mais distribués afin de rapprocher la génération de chaleur de l'usage des systèmes de récupération. En effet, la chaleur générée par les infrastructures des data-centres est souvent considérée comme un déchet dont il faut se débarrasser. La première approche explorée est donc de réutiliser la chaleur sous forme d'eau chaude permettant de chauffer bureaux et logements<sup>11</sup>. Cette réutilisation impose des contraintes de distance maximum entre génération d'eau chaude et usage (pour éviter les pertes de chaleur), de volume d'eau (pour avoir un impact conséquent) et de température minimale à respecter (pour éviter les risques de légionellose par exemple).

Une autre approche plus récente, consiste à rapprocher la génération de chaleur des utilisateurs. L'architecture du data-centre peut alors être divisée en sous parties qui sont géographiquement distribuées. Le principe est toujours le même : l'équipement contient des cœurs de calcul dont on recycle la chaleur générée lors des phases d'usage. Cette répartition induit de nouvelles problématiques de partage, connectivité et accès aux équipements. Néanmoins on va ainsi trouver des éléments de calcul dans des radiateurs électriques<sup>12</sup>, chaudières<sup>13</sup> et chauffe-eaux numériques<sup>14</sup>. L'Université Lyon3, a ainsi déployé en décembre 2014 un démonstrateur de chaudière numérique avec l'aide de la société Stimergy. Les serveurs sont installés dans un bac rempli d'huile minérale qui a pour caractéristique de transporter très efficacement la chaleur ; les disques durs restent accessibles à tout moment car la face "avant" des serveurs reste hors immersion. La chaleur recyclée sert à chauffer les douches de l'université tout en offrant de nouveaux services de calcul et stockage aux étudiants.

## 4 Déchets informatiques oui, mais pas n'importe où !

Les ordinateurs et autres équipements informatiques qui arrivent en fin de vie appartiennent à une grande famille de déchets dénommée DEEE. Ces déchets font l'objet d'une réglementation européenne qui vise à favoriser leur réutilisation, leur collecte et leur recyclage au sein de filières réglementées. Tout détenteur a donc des obligations à respecter pour gérer de manière responsable ce type de déchets. Selon l'étude de l'ADEME en 2013 les équipements informatiques et de télécommunications représentaient 70 % des tonnages de DEEE professionnels collectés [4]. Dans la réalité, par rapport aux équipements mis sur le marché, une infime fraction est collectée et le pourcentage réel de recyclage de ces équipements est faible.

En 2013 EcoInfo avait enquêté pour mieux connaître les pratiques au sein des établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche [5]. La synthèse des résultats avait d'ailleurs fait l'objet d'un poster présenté aux JRES 2013. Cette année nous avons renouvelé notre enquête pour voir si les pratiques avaient évolué et nous avons eu 16% de réponses en plus par rapport à l'enquête 2013. Cependant les réponses obtenues en 2015 diffèrent peu dans leur contenu. Ainsi, malgré le fait que des solutions existent bel et bien pour une prise en charge des DEEE à moindre coût, 24% des répondants disent encore conserver les déchets informatiques en attente d'une solution de prise en charge. 35% des répondants déclarent que leur organisme propose un don de matériel aux personnels, à des associations ou des écoles (+10% par rapport à l'enquête de 2013).

On peut observer plusieurs bonnes pratiques. Citons celle de l'Université de Nantes où l'on recense plus de 13000 postes de travail : une procédure de gestion des déchets informatiques et audiovisuels est en place depuis 2008. Plus de 220 tonnes de matériels ont déjà été collectées. Le processus est bien rôdé et ne cesse de s'améliorer.

<sup>11</sup> Cloud & Heat : <https://www.cloudandheat.com/en/index.html>

<sup>12</sup> Qarnot Computing : <http://www.qarnot-computing.com/>

<sup>13</sup> Stimergy : <http://www.stimergy.net/>

<sup>14</sup> Defab : <http://defab.fr/>



L'essentiel du travail est fait en amont de la collecte. Sur les précédentes campagnes, un portail web permettait à des correspondants informatiques de recenser le besoin en fonction de l'état du parc. Désormais le point d'entrée sera l'inventaire physique géré par les services financiers qui servira de base de référence. Après une phase de validation par les directeurs de composants, une campagne d'échange est organisée pour permettre à une composante de récupérer du matériel jugé obsolète par une autre. Ainsi à chaque campagne, c'est une centaine d'unités qui peut transiter d'une composante à une autre. L'autre travail à mener en phase amont est de trouver un prestataire pour la collecte et le traitement des déchets. Un cahier des charges très précis exposant le volume de collecte prévisionnel, les modalités de prise en charge souhaitées, les exigences en terme de traçabilité est envoyé aux principaux fabricants de matériel. En effet ceux-ci, pour répondre à des obligations réglementaires cherchent à reprendre annuellement un certain tonnage de DEEE. Les coûts sont alors intégralement pris en charge par le fabricant qui après accord de l'université fait appel à un sous-traitant pour la collecte. D'un point de vue logistique, les DEEE sont stockés provisoirement dans des locaux. Le prestataire propose un planning pour les 80 points de collecte. Le jour de la collecte (donc une fois par an) des personnels sont chargés de déposer les matériels dans des pannes déposées par le prestataire. Un semi-remorque récupère le matériel en une seule tournée. La traçabilité est assurée via l'émission d'un bordereau de suivi de déchets dangereux. L'Université de Nantes récupère également des documents administratifs attestant du respect de la réglementation comme le bordereau de transport, le contrat d'assurance du transporteur, les certificats d'exploitation. Si l'Université ne connaît pas au final quelle est la fraction des matériaux réellement recyclée (mais il est très difficile d'avoir ces informations !) elle vérifie que le processus respecte les exigences de la réglementation européenne sur l'ensemble des acteurs concernés.

Reste que le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas ! Une bonne gestion des e-déchets est donc à corréliser aux achats. En achetant mieux, en faisant le meilleur usage possible des équipements pour augmenter leur durée de vie, on générera en fin de vie des déchets plus aptes à être recyclés.

## 5 Conclusion

Ce court article présente quelques bonnes pratiques glanées parmi les acteurs de l'enseignement supérieur et la recherche. Peu d'exemples, mais qui sont assez représentatifs des situations que nous avons pu rencontrer. Nous n'avons pas illustré les pratiques visant à mettre en veille, éteindre électriquement l'ensemble des postes de travail des unités lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Entre le « tout laisser faire » et le « éteindre automatiquement », il y a des solutions qui ont été mises en œuvre dans de nombreux laboratoires, associant une dimension « sensibilisation aux problématiques environnementales », une dimension organisationnelle (sauvegardes pendant les heures de travail par exemple) et une dimension technologique (outils logiciels essentiellement). Quant aux initiatives dans le domaine des data-centres, elles sont diverses et nombreuses. Il n'est plus imaginable aujourd'hui de concevoir un nouveau data-centre (qui plus est dans le domaine public) sans prendre en compte les aspects énergétiques. La question du traitement des déchets reste certainement le domaine où il y a le plus de progrès à faire : des milliers de stations de travail sont stockés dans l'attente de solutions et lorsque les solutions existent et sont mises en œuvre par les services logistiques d'un campus, elles sont trop souvent inconnues des informaticiens en charge de ces équipements. Améliorer la visibilité des services en charge du traitement des déchets et encourager les services informatiques à interagir avec eux semblent des pistes intéressantes. Finalement, rappelons que toutes les étapes du cycle de vie ont un impact environnemental, et pas uniquement sur le réchauffement climatique. En cette année de COP21, il faut attaquer ce problème à tous les niveaux !

## Bibliographie

- [1] ADEME. Étude sur la durée de vie des équipements électriques et électroniques. Juillet 2012, <http://ademe.typepad.fr/files/dur%C3%A9e-de-vie-des-eee.pdf>

- [2] R. Ferret, F. Berthoud, L. Lefevre. « Consommation énergétique des data-centres : quand la politique Européenne s'en mêle », Journées Réseaux, JRES 2011, [https://2011.jres.org/archives/121/paper121\\_article.pdf](https://2011.jres.org/archives/121/paper121_article.pdf)
- [3] European Code of Conduct on Data Centres Energy Efficiency, <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/ict-codes-conduct/data-centres-energy-efficiency>
- [4] ADEME. Rapport annuel sur la mise en œuvre de la réglementation relative aux Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) Données 2013, 2014 <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/equipements-electriques-electroniques-2013-rapport-annuel.pdf>
- [5] F. Berthoud , M. Parry , L. Lefevre . Acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche en France, que faites-vous de vos e-déchets ? quelle est la réglementation ?, 2013 [http://ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?action=accéder\\_document&arg=604&cle=c9723d9ec40f71bb72f6fcdf5b66aa004bf04e6&file=pdf%2Frappor-completdeee.pdf](http://ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?action=accéder_document&arg=604&cle=c9723d9ec40f71bb72f6fcdf5b66aa004bf04e6&file=pdf%2Frappor-completdeee.pdf)