



**ADEME**

**Analyse comparée des impacts environnementaux  
de la communication par voie électronique**

**Volet requête web :  
Synthèse**


Juillet 2011

Bio Intelligence Service - La mesure du développement durable  
Ecologie industrielle - Santé nutritionnelle

Bio Intelligence Service S.A.S - [bio@biois.com](mailto:bio@biois.com)  
20-22 Villa Deshayes - 75014 Paris - France  
Tél. +33 (0)1 53 90 11 80 - Fax. +33 (0)1 56 53 99 90

Contact Bio Intelligence Service S.A.S.

Yannick Le Guern/Laura Farrant

 + 33 (0)1 53 90 11 80

[yannick.leguern@biois.com](mailto:yannick.leguern@biois.com)

[laura.farrant@biois.com](mailto:laura.farrant@biois.com)

# Synthèse

## Contexte et objectifs de l'étude

Dans un contexte de forte croissance du secteur des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), l'ADEME souhaite **améliorer ses connaissances sur les impacts environnementaux engendrés par la communication électronique** et inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement. Pour cela, l'ADEME s'intéresse en particulier à l'utilisation du courrier électronique, aux requêtes effectuées sur Internet, aux achats en ligne et à l'utilisation de support de transmission de documents de type clés USB.

Cette étude a pour objectif **d'évaluer les impacts environnementaux liés à une requête web**.

Les bilans environnementaux réalisés dans cette étude sont établis selon la méthodologie des Analyses de Cycle de Vie (ACV) suivant les normes ISO 14040 et 14044. Pour valider la conformité de cette étude avec la série des normes ISO 14040, celle-ci a fait l'objet d'une **revue critique** réalisée par plusieurs experts indépendants.

## Unité fonctionnelle et Frontières du système

L'ACV de la requête web consiste à quantifier les impacts sur l'environnement des étapes associées à une requête web visant à trouver **une information donnée**. Le type d'information recherchée pouvant avoir une influence sur le mode d'utilisation du moteur de recherche (nombre de mots-clés utilisés, nombre de pages de résultats consultées...), nous avons distingué deux configurations pour la requête web sur la base du type d'information recherchée : **recherche d'une adresse internet** ou **recherche d'une information**. Pour interpréter les résultats, on introduit une référence servant à exprimer le bilan matières et énergies du cycle de vie de chaque système. C'est l'unité fonctionnelle du bilan environnemental. Elle permet de quantifier les résultats d'une étude ACV par rapport au service rendu. Deux unités fonctionnelles ont été définies pour cette étude :

« Trouver une adresse Internet »

« Trouver l'information correspondant le mieux à la requête de l'utilisateur »

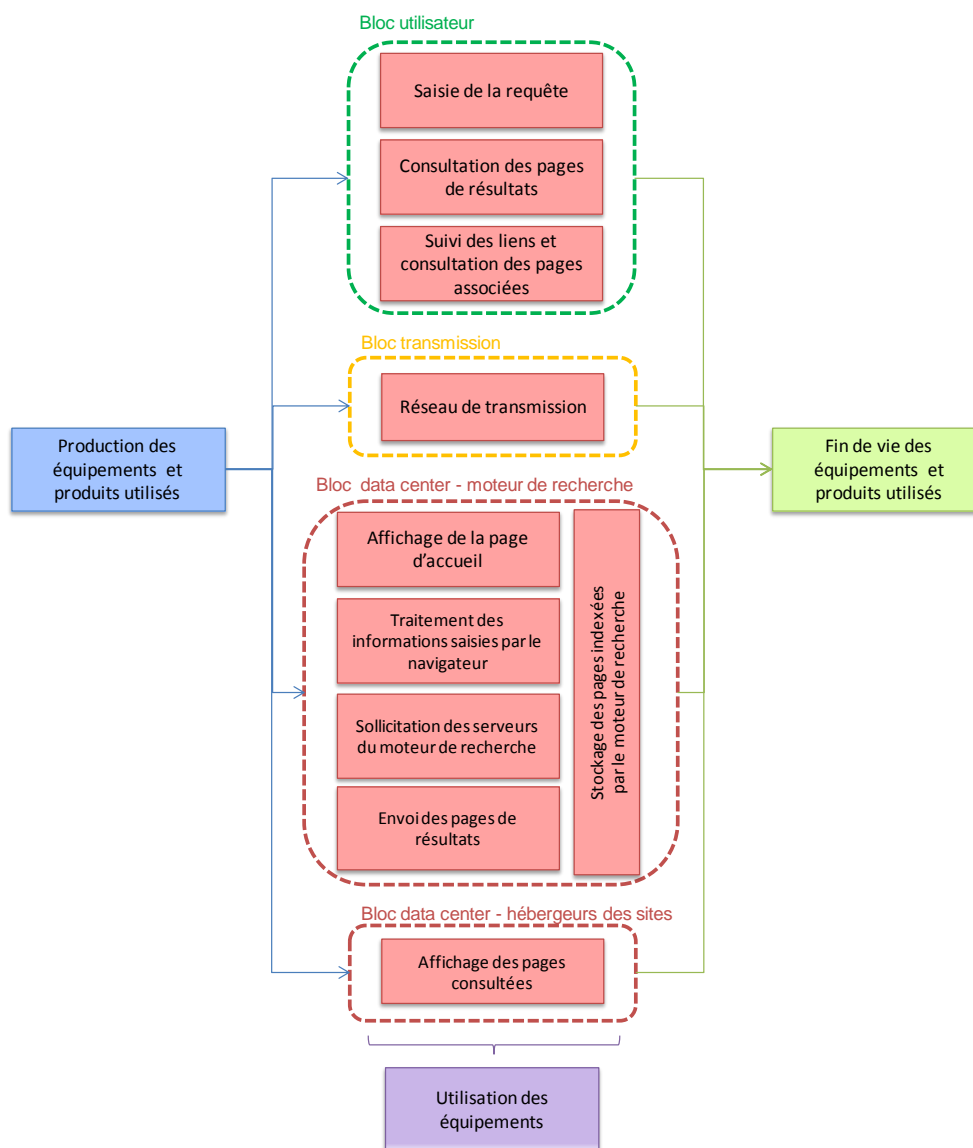
Pour évaluer les impacts environnementaux des deux types de requête web, les phases suivantes ont été considérées :

- Sollicitation de l'ordinateur et de la « box » de l'utilisateur pendant toute la durée de la requête : saisie de la requête, consultation des pages de résultats, suivi des liens et consultation des pages web associées;
- Transmission des informations entre l'ordinateur de l'utilisateur et les Data Centers chargés du traitement de la requête ou de l'hébergement des pages de résultats consultées ;
- Traitement de la requête au sein des Data Centers du moteur de recherche : interface utilisateur/moteur de recherche, sollicitation des serveurs du moteur de recherche, stockage des données indexées, envoi de la page/des pages de résultats ;
- Traitement des données au sein des Data Centers hébergeant les sites visités afin de permettre la consultation des pages web correspondant aux liens suivis.

Pour chacune de ces phases, les étapes de **production**, **d'utilisation** et de **fin de vie des équipements et produits utilisés** ont été prises en compte.

Afin de réaliser l'étude, il a été nécessaire de reconstituer de manière approfondie les transferts d'informations mis en œuvre lors d'une requête web, depuis la saisie de la requête par l'utilisateur sur la page d'accueil du moteur de recherche jusqu'à l'obtention de l'information recherchée.

Il en résulte que **les scénarios considérés sont des scénarios plausibles élaborés par le biais de recherches bibliographiques et d'échanges avec des professionnels et experts du secteur.**



La modélisation retenue s'appuie sur la décomposition d'une requête web en six étapes successives, chaque étape faisant intervenir différents « blocs » en fonction du type d'équipements sollicités.

Etape 1 : Affichage de la page d'accueil ; Etape 2 : Saisie de la requête ; Etape 3 : Acheminement des informations relatives à la requête jusqu'au data center du moteur de recherche, Etape 4 : Recherche des résultats, Etape 5 : renvoi des résultats jusqu'à l'utilisateur ; Etape 6 : affichage des pages web consultées depuis les pages de résultats.

## Principales hypothèses des scénarios de référence

Deux scénarios de référence ont été construits : scénario « recherche d'une adresse Internet » et scénario « recherche d'une information ». Ces scénarios se distinguent notamment en ce qui concerne le temps d'utilisation de l'ordinateur qui est de 15 secondes au total pour le scénario « recherche d'une adresse Internet » et de 6 minutes et 15 secondes pour le scénario « recherche d'une information ». Les principales hypothèses retenues pour ces scénarios sont les suivantes :

### « Recherche d'une adresse Internet » :

- Recherche d'une adresse via un moteur de recherche dans un contexte d'utilisation « particulier », et un contexte géographique français ;
- L'utilisateur suit seulement 1 lien (il consulte donc une seule page) et passe au total 15 secondes devant son ordinateur dont 5 secondes devant la page consultée ;
- Un mix représentatif du parc français d'ordinateurs est pris en compte (composé de PC à écran CRT, LCD, et de PC portables) pour modéliser les équipements informatiques de l'utilisateur.
- Un mix électrique français a été considéré pour l'ensemble des équipements hors centres de données. Pour ces derniers un modèle électrique mondial moyen a été considéré ;
- La durée de vie retenue de chaque équipement constitutif des ordinateurs considérés dans le mix du parc français est :
  - 4 ans : pour l'unité centrale, l'ordinateur portable, le clavier, la souris et le chargeur de portable ;
  - 6 ans : pour les écrans de type CRT et LCD.

Les étapes de fin de vie des équipements électriques et électroniques ont été prises en compte conformément à la réglementation en vigueur dans l'Union Européenne sur les Déchets Electriques et Electroniques (DEEE).

### « Recherche d'une information » :

- Recherche d'une information sur un moteur de recherche dans un contexte d'utilisation « particulier », et un contexte géographique français ;
- L'utilisateur suit 5 liens (il consulte 5 pages) avant de trouver l'information qu'il recherche et passe au total 6 minutes et 15 secondes devant son ordinateur dont 1 minute par page consultée ;
- Un mix représentatif du parc français d'ordinateurs est pris en compte (composé de PC à écran CRT, LCD, et de PC portables) pour modéliser les équipements informatiques de l'utilisateur.
- Un mix électrique français a été considéré pour l'ensemble des équipements hors centres de données. Pour ces derniers un modèle électrique mondial moyen a été considéré ;
- La durée de vie retenue de chaque équipement constitutif des ordinateurs considérés dans le mix du parc français est :
  - 4 ans : pour l'unité centrale, l'ordinateur portable, le clavier, la souris et le chargeur de portable ;
  - 6 ans : pour les écrans de type CRT et LCD.

Les étapes de fin de vie des équipements électriques et électroniques ont été prises en compte conformément à la réglementation en vigueur dans l'Union Européenne sur les Déchets Electriques et Electroniques (DEEE).

## Indicateurs d'impacts environnementaux considérés

Dans le cadre de ce projet, la méthode d'évaluation des impacts ReCiPe (version Hierarchist – mid point) qui offre une large sélection d'indicateurs et qui est reconnue pour sa fiabilité a été utilisée. Parmi les 18 indicateurs contenus dans ReCiPe nous avons retenu les indicateurs présentés dans le tableau qui suit. Ces indicateurs correspondent aux catégories d'impacts fréquemment évaluées dans les ACV. Afin de couvrir **l'ensemble des enjeux clés associés aux systèmes étudiés**, il a été décidé de rajouter des indicateurs des méthodes CML et IMPACT 2002+.

Indicateur	Unité	Méthode
Potentiel de changement climatique	g éq. CO <sub>2</sub>	ReCiPe
Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	g éq.CFC-11	ReCiPe
Potentiel d'oxydation photochimique	g NMVOC	ReCiPe
Potentiel de formation de matière particulaire	g éq.PM10	ReCiPe
Potentiel de radiation ionisante	g éq.U235	ReCiPe
Potentiel d'acidification terrestre	g éq.SO <sub>2</sub>	ReCiPe
Potentiel d'eutrophisation en eau douce	g éq.P	ReCiPe
Potentiel d'eutrophisation marine	g éq.N	ReCiPe
Epuisement potentiel des métaux	g éq.Fe	ReCiPe
Epuisement potentiel des ressources fossiles	g éq.pétrole	ReCiPe
Epuisement potentiel des ressources naturelles :	g éq.Sb	CML
- Métaux rares	g éq.Sb	CML
- Ressources énergétiques	g éq.Sb	CML
Consommation d'énergie primaire non-renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+
Consommation d'énergie primaire renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+
Potentiel de toxicité humaine	g éq.1,4-DB	CML
Potentiel d'écotoxicité en eau douce	g éq.1,4-DB	CML
Potentiel d'écotoxicité marine	g éq.1,4-DB	CML
Potentiel d'écotoxicité terrestre	g éq.1,4-DB	CML
Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	g éq.1,4-DB	CML

## Sources des données

La collecte de données n'ayant pas été possible auprès des acteurs du secteur pour des raisons de confidentialité essentiellement, l'ensemble des données nécessaires à la modélisation des équipements par lesquels transite l'information ont été issues d'importantes recherches bibliographiques et d'une **phase d'échanges avec les professionnels du secteur**.

En effet, à l'issue d'une phase de recherche bibliographique, une modélisation du système étudié a été proposée par BIO. Afin de faire valider l'approche proposée et les données recueillies, nous avons sollicité l'avis de professionnels du secteur. Nous avons ainsi contacté : des adhérents de la FedISA (Information Lifecycle Management, Stockage & Archivage), partenaire de BIO pour cette étude, ainsi que d'autres acteurs importants du secteur (Cisco, IBM, HP, Messaging Architects, Arcsys Software). Nous avons également bénéficié de l'expertise technique de l'ADEME, dans le domaine des TIC.

## Représentativité des données

Les données rassemblées pour évaluer l'impact de la phase de production des équipements et produits utilisés sont représentatives des technologies récentes (2000 à 2007) utilisées en Europe, Chine et dans le monde.

L'étude se base sur un contexte d'utilisation chez un « particulier en France ». Un contexte géographique français a donc été considéré pour l'utilisateur effectuant une recherche. La consommation d'électricité étant l'un des enjeux principaux associés aux nouvelles technologies de l'information, il est important que l'inventaire de cycle de vie utilisé pour modéliser la production d'électricité soit représentatif du contexte géographique et temporel considéré: les consommations d'électricité sont donc modélisées par le modèle énergétique français pour tous les équipements personnels (ordinateurs, écrans). Les scénarios de gestion en fin de vie retenus pour ces équipements sont aussi représentatifs du contexte français.

Pour l'ensemble des équipements des centres de données, un contexte mondial a été considéré, compte tenu du fait que l'information peut transiter via des centres de données situés dans différents pays y compris hors Europe.

## Scénarios alternatifs étudiés

En plus des deux scénarios de référence, un ensemble de scénarios alternatifs ont été modélisés afin d'étudier l'influence de différents paramètres.

Ces scénarios alternatifs, présentés ci-après, permettent d'évaluer la portée des conclusions obtenues en étudiant la sensibilité des résultats à la variation de certains paramètres clés. Les paramètres analysés sont les suivants:

- Mix énergétique considéré pour l'ordinateur de l'utilisateur : il s'agit du modèle énergétique utilisé pour modéliser la production d'électricité pour les différents équipements. Pour un pays donné, il correspond à la proportion des différentes sources dans la production d'énergie (nucléaire, charbon,...).
- Type d'équipement : type d'ordinateur utilisé par l'utilisateur (ordinateurs fixes avec écran CRT ou LCD, ou ordinateurs portables).
- Profil d'utilisation de l'ordinateur : influence d'une utilisation intensive
- Localisation des Data Centers sollicités : qui agit sur le mix électrique utilisé. Le mix moyen mondial utilisé dans le scénario de référence est remplacé par les mix moyens actuels français et européen.
- Taille de l'index c'est-à-dire de la quantité d'information devant être stockées pour une requête.
- Nombre de serveurs sollicités : Face à la variabilité des données concernant le nombre de serveurs sollicités au sein des Data Centers des moteurs de recherche pour une requête, il a été nécessaire d'évaluer l'influence de ce paramètre.

## Résultats obtenus pour les scénarios de références

*Sur l'ensemble des graphiques présentés dans cette partie, « (DC) » signifie Data Center.*

Pour les deux scénarios de référence, les résultats pour les 20 indicateurs d'impact potentiel sont présentés par principales étapes (affichage de la page d'accueil, saisie de la requête, acheminement des informations relatives à la requête jusqu'au data center du moteur de recherche, recherche des résultats, renvoi des résultats jusqu'à l'utilisateur, et affichage des pages web consultées depuis les pages de résultats).

➤ **Scénario « Recherche d'une adresse Internet »**

Le tableau suivant présente les résultats de l'étude en termes d'impacts potentiels pour les 20 indicateurs retenus pour l'unité fonctionnelle choisie « Trouver une adresse Internet ».

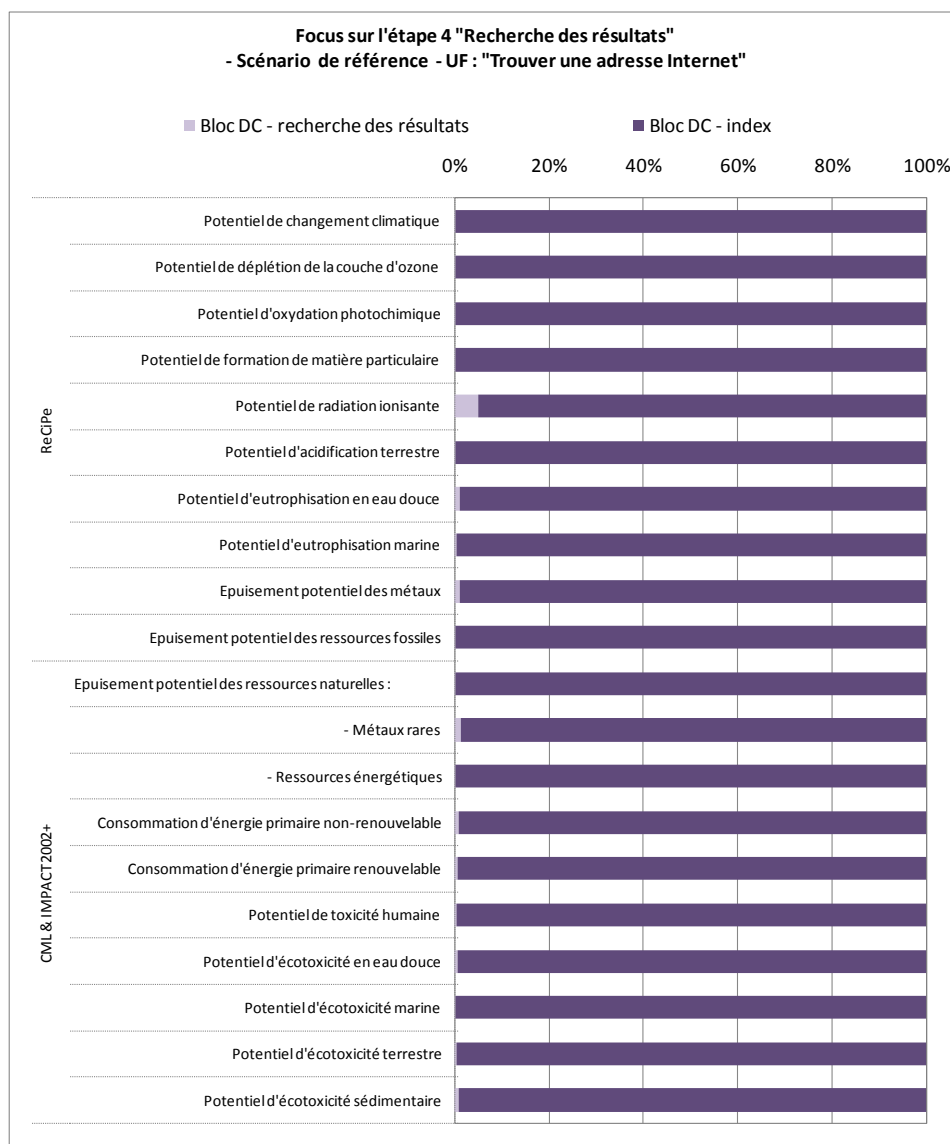
Indicateur	Unité	Méthode	Total	Etape 1 Page d'accueil	Etape 2 Saisie de la requête	Etape 3 Envoi de la requête	Etape 4 Recherche des résultats	Etape 5 Affichage des résultats	Etape 6 Chargement de la page recherchée	
<b>ReCiPe</b>	Potentiel de changement climatique	g éq CO2	ReCiPe	2,8	0,05%	3,9%	0,02%	88%	4%	4%
	Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	g éq CFC-11	ReCiPe	2,7E-07	0,04%	9,4%	0,018%	72%	9%	10%
	Potentiel d'oxydation photochimique	g éqNMVOC	ReCiPe	7,0E-03	0,07%	5,2%	0,04%	84%	5%	6%
	Potentiel de formation de matière particulaire	g éq PM10	ReCiPe	3,6E-03	0,10%	5,6%	0,05%	82%	6%	6%
	Potentiel de radiation ionisante	g éq U235	ReCiPe	1,2	0,10%	13%	0,049%	59,5%	13%	14%
	Potentiel d'acidification terrestre	g éq SO2	ReCiPe	1,2E-02	0,09%	5,0%	0,04%	84%	5%	5%
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	g éq P	ReCiPe	7,6E-05	0,18%	21%	0,09%	36%	21%	22%
	Potentiel d'eutrophisation marine	g éq N	ReCiPe	1,5E-03	0,042%	18%	0,020%	46%	18%	18%
	Epuisement potentiel des métaux	g éq Fe	ReCiPe	0,32	0,29%	23%	0,15%	28%	24%	25%
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	g éq pétrole	ReCiPe	0,83	0,05%	3,1%	0,02%	90%	3%	3%
<b>CML &amp; IMPACT 2002+</b>	Epuisement potentiel des ressources naturelles :	g éq Sb	CML	2,1E-02	0,04%	3,1%	0,02%	90%	3%	3%
	- Métaux rares	g éq Sb	CML	2,7E-05	0,055%	23%	0,026%	30,9%	23%	23%
	- Ressources énergétiques	g éq Sb	CML	2,1E-02	0,04%	2,9%	0,02%	91%	3%	3%
	Consommation d'énergie primaire non-renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	4,8E-02	0,06%	5,6%	0,03%	83%	6%	6%
	Consommation d'énergie primaire renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	3,1E-03	0,06%	4,7%	0,03%	85%	5%	5%
	Potentiel de toxicité humaine	g éq 1,4-DB	CML	0,87	0,44%	15%	0,22%	49,8%	17%	18%
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	g éq 1,4-DB	CML	0,41	2,63%	19%	1,3%	20%	25%	32%
	Potentiel d'écotoxicité marine	g éq 1,4-DB	CML	2565	0,12%	11%	0,06%	66%	11%	11%
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	g éq 1,4-DB	CML	8,2E-03	0,39%	11%	0,20%	63%	12%	13%
Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	g éq 1,4-DB	CML	1,0	2,7%	19%	1,3%	19%	26%	32%	

Pour la plupart des indicateurs, **l'étape 4 de recherche des résultats est à l'origine de l'essentiel des impacts potentiels**. Des impacts significatifs sont également associés aux étapes **2, 5 et 6** du fait de la sollicitation de l'ordinateur lors de ces étapes (saisie de la requête, consultation de la page de résultats et de la page web recherchée).

- **Focus sur l'étape 4 « Recherche des résultats »**

La figure qui suit présente le détail de la contribution des deux blocs qui constituent l'étape 4 correspondant à la recherche des résultats :

- Bloc DC – recherche de résultats : ce bloc comprend les impacts potentiels associés aux 1000 serveurs sollicités pour la recherche des résultats ;
- Bloc DC – index : ce bloc comprend les impacts potentiels associés au stockage des données indexées par le moteur de recherche.



La quasi-totalité des impacts associés à l'étape 4 sont liés au **stockage des données indexées**. C'est la **consommation d'électricité des baies de stockage** qui est à l'origine des impacts observés.

➤ **Scénario « Recherche d'une information »**

Le tableau suivant présente les résultats de l'étude en termes d'impacts potentiels pour les 20 indicateurs retenus pour l'unité fonctionnelle choisie « Trouver l'information correspondant le mieux à la requête de l'utilisateur ».

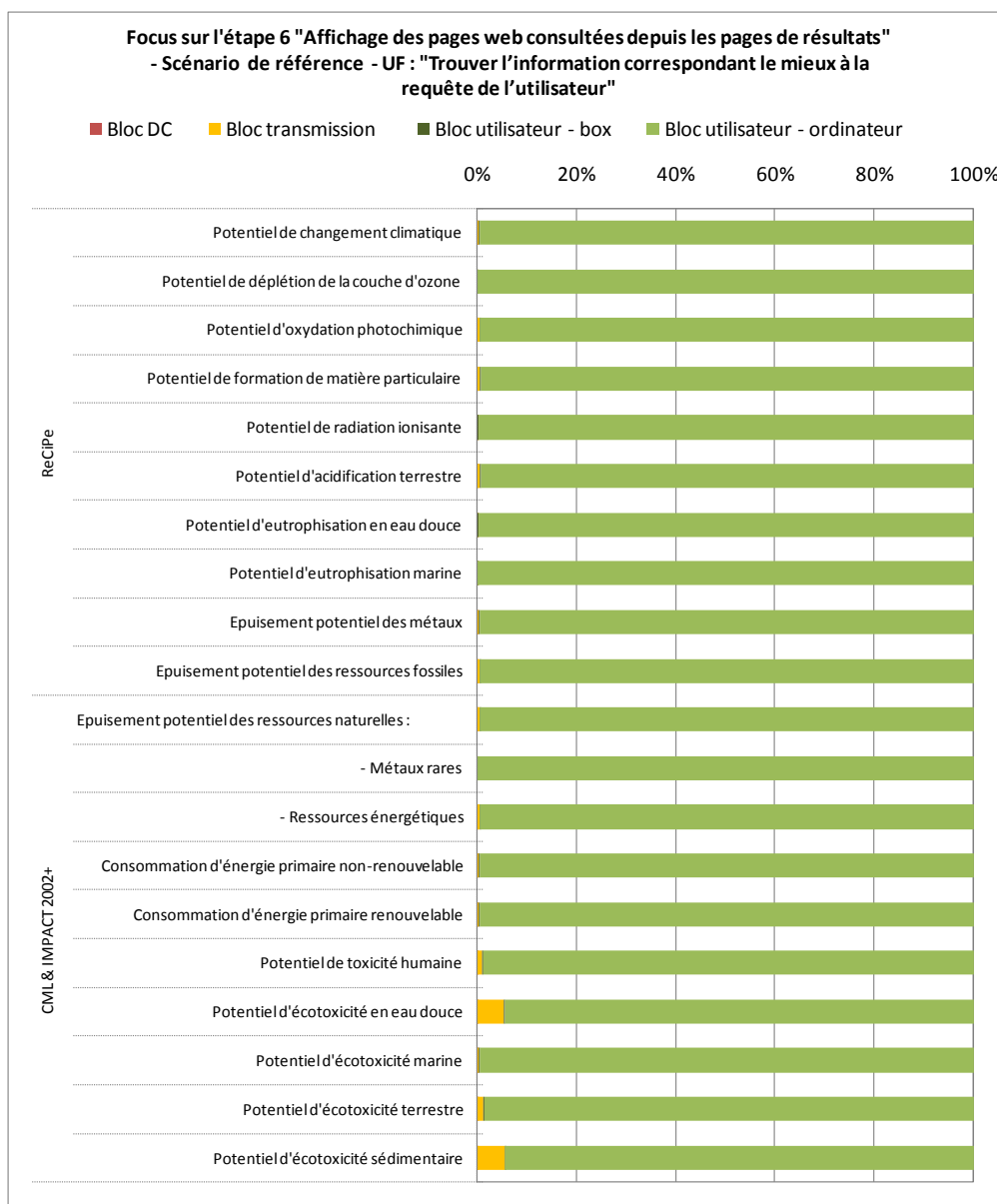


Indicateur	Unité	Méthode	Total	Etape 1 Page d'accueil	Etape 2 Saisie de la requête	Etape 3 Envoi de la requête	Etape 4 Recherche des résultats	Etape 5 Affichage des résultats	Etape 6 Consultation des sites	
<b>ReCiPe</b>	Potentiel de changement climatique	g éq CO2	ReCiPe	10	0,01%	1,0%	0,01%	24%	13%	63%
	Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	g éq CFC-11	ReCiPe	2,0E-06	0,01%	1,2%	0,002%	9%	15%	74%
	Potentiel d'oxydation photochimique	g éqNMVOC	ReCiPe	3,3E-02	0,02%	1,1%	0,01%	18%	13%	67%
	Potentiel de formation de matière particulaire	g éq PM10	ReCiPe	1,8E-02	0,02%	1,1%	0,01%	17%	14%	69%
	Potentiel de radiation ionisante	g éq U235	ReCiPe	12	0,01%	1%	0,005%	5,8%	15%	77%
	Potentiel d'acidification terrestre	g éq SO2	ReCiPe	5,2E-02	0,02%	1,1%	0,01%	19%	13%	67%
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	g éq P	ReCiPe	1,2E-03	0,01%	1%	0,01%	2%	16%	80%
	Potentiel d'eutrophisation marine	g éq N	ReCiPe	2,1E-02	0,003%	1%	0,001%	3%	16%	79%
	Epuisement potentiel des métaux	g éq Fe	ReCiPe	5,5	0,02%	1%	0,01%	2%	16%	81%
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	g éq pétrole	ReCiPe	2,7	0,01%	1,0%	0,01%	28%	12%	59%
<b>CML &amp; IMPACT 2002+</b>	Epuisement potentiel des ressources naturelles :	g éq Sb	CML	6,8E-02	0,01%	1,0%	0,01%	28%	12%	59%
	- Métaux rares	g éq Sb	CML	4,6E-04	0,003%	1%	0,002%	1,8%	16%	81%
	- Ressources énergétiques	g éq Sb	CML	6,4E-02	0,01%	1,0%	0,01%	30%	12%	58%
	Consommation d'énergie primaire non-renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	0,23	0,01%	1,1%	0,01%	17%	14%	68%
	Consommation d'énergie primaire renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	1,3E-02	0,01%	1,1%	0,01%	20%	13%	66%
	Potentiel de toxicité humaine	g éq 1,4-DB	CML	10	0,04%	1,3%	0,02%	4,2%	16%	79%
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	g éq 1,4-DB	CML	6,1	0,18%	1,3%	0,09%	1,4%	16%	81%
	Potentiel d'écotoxicité marine	g éq 1,4-DB	CML	22120	0,01%	1,3%	0,01%	8%	15%	76%
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	g éq 1,4-DB	CML	7,3E-02	0,04%	1,3%	0,02%	7%	15%	76%
	Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	g éq 1,4-DB	CML	15	0,2%	1,3%	0,1%	1,3%	16%	81%

L'étape 6, qui consiste en l'affichage et la consultation des sites web visionnés à partir des résultats de la requête, apparaît à l'origine de la majorité des impacts potentiels. Les étapes 4 et 5 correspondant à la recherche des résultats (sollicitation de serveurs et de baies de stockage au sein du Data Center du moteur de recherche) et à l'affichage des résultats (sollicitation d'un ordinateur pour la consultation des pages de résultats) sont également à l'origine d'impacts significatifs.

- Focus sur l'étape 6 « Affichage des pages web consultées depuis les pages de résultats »

La figure qui suit présente le détail de la contribution des différents « blocs » : Data Center, transmission, utilisateur (box et ordinateur), constituant l'étape 6.



Le **temps de sollicitation de l'ordinateur de l'utilisateur** qui explique la prédominance de l'étape 6. Ce temps de sollicitation est déterminé par le nombre de pages web consultées et le temps passé sur chaque page en vue de trouver l'information recherchée. Dans le cadre du scénario étudié, il a été considéré que 5 pages sont consultées à raison d'une minute par page consultée.

## Normation

La normation permet de hiérarchiser les impacts potentiels sur l'environnement et de faciliter l'appréhension de l'ampleur des dommages ou des bénéfiques en rapportant les indicateurs d'impact à une unité commune, l'équivalent habitant. Ce processus de normation consiste à ramener les impacts potentiels générés tout au long du cycle de vie aux impacts générés par un européen en 1 année.

Les tableaux suivants présentent les impacts de 10 000 000 Unités Fonctionnelles normés par les impacts générés par un habitant Européen en un an pour les deux scénarios. Les indicateurs avec des impacts mineurs apparaissent en jaune, ceux avec un impact moyen en orange et ceux avec un impact majeur en rouge.

➤ Scénario « Recherche d'une adresse Internet »

	Indicateur	Valeur de référence par an et par habitant		Résultats normés pour le scénario de référence (pour 500 millions d'UF)
ReCiPe	Epuisement potentiel des métaux	714	kg éq.Fe	221
	Potentiel d'acidification terrestre	34	kg éq.SO2	218
	Potentiel d'eutrophisation marine	12	kg éq.N	168
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	0,25	kg éq.P	151
	Potentiel de changement climatique	11 236	kg éq.CO2	125
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	1 901	kg éq.pétrole	120
	Potentiel de radiation ionisante	6 250	kg éq.U235	97
	Potentiel de formation de matière particulaire	15	kg éq.PM10	62
	Potentiel d'oxydation photochimique	56	kg éq.NMVOC	62
	Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	0,022	kg éq.CFC-11	6,1
CML & IMPACT 2002+	Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	415	kg éq.1,4-DB	1211
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	210	kg éq.1,4-DB	982
	Epuisement potentiel des ressources naturelles :	60	kg éq.Sb	176
	Potentiel de toxicité humaine	2 800	kg éq.1,4-DB	154
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	70	kg éq.1,4-DB	58

	Impacts supérieurs à 200 équivalents habitant
	Impacts compris entre 100 et 200 équivalents habitant
	Impacts inférieurs à 100 équivalents habitant

➤ Scénario « Recherche d'une information »

	Indicateur	Valeur de référence par an et par habitant		Résultats normés pour le scénario de référence (pour 50 millions d'UF)
ReCiPe	Epuisement potentiel des métaux	714	kg éq.Fe	382
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	0,25	kg éq.P	235
	Potentiel de radiation ionisante	6 250	kg éq.U235	99
	Potentiel d'eutrophisation marine	12	kg éq.N	84
	Potentiel d'acidification terrestre	34	kg éq.SO2	76
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	1 901	kg éq.pétrole	70
	Potentiel de formation de matière particulaire	15	kg éq.PM10	59
	Potentiel de changement climatique	11 236	kg éq.CO2	47
	Potentiel d'oxydation photochimique	56	kg éq.NMVOC	29
		Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	0,022	kg éq.CFC-11
CML & IMPACT 2002+	Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	415	kg éq.1,4-DB	1800
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	210	kg éq.1,4-DB	1445
	Potentiel de toxicité humaine	2 800	kg éq.1,4-DB	184
	Epuisement potentiel des ressources naturelles :	60	kg éq.Sb	56
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	70	kg éq.1,4-DB	52

	Impacts supérieurs à 1000 équivalents habitant
	Impacts compris entre 100 et 1000 équivalents habitant
	Impacts inférieurs à 100 équivalents habitant

Parmi les indicateurs ReCiPe, les enjeux environnementaux principaux pour les deux scénarios de référence sont : **l'épuisement potentiel des métaux, le potentiel d'eutrophication en eau douce, le potentiel d'acidification terrestre et le potentiel de changement climatique, et le potentiel de radiation ionisante**. Parmi les indicateurs CML et IMPACT 2002+, les indicateurs relatifs au **potentiels d'écotoxicité en eau douce et sédimentaires** ressortent comme prioritaires. Cependant il est important de rappeler qu'une grande incertitude est liée aux indicateurs de toxicité.

## Conclusions

### RESULTATS DE L'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

#### **QUELS SONT LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET CHIFFRES CLES ?**

La normation des résultats a permis de mettre en lumière les enjeux environnementaux relatifs à la requête web. Il s'agit de :

- **L'épuisement potentiel des métaux**: cet indicateur reflète l'enjeu lié à l'emploi de métaux rares (cuivre, aluminium et métaux rares) dans l'industrie électronique.  
**L'équivalent de 0,3 g de fer [0,1-0,8 g éq.Fe] est potentiellement consommé** lors d'une requête web permettant de trouver une adresse Internet.  
**L'équivalent de 5,5 g de fer [2,5-9,7 g éq.Fe] est potentiellement consommé** lorsqu'une information est obtenue en faisant une requête via un moteur de recherche et en consultant 5 résultats, soit l'équivalent du poids d'une pièce de 20 centimes d'euro.
- **Le potentiel d'eutrophication en eau douce** : la contribution à cet indicateur est associée à consommation d'eau nécessaire à la fabrication des « galettes » des circuits imprimés de l'ordinateur.  
**L'équivalent de 1,2 mg de phosphate [0,6-1,8 mg éq.P] est potentiellement émis dans l'eau** lorsqu'une information est obtenue en faisant une requête via un moteur de recherche et en consultant 5 résultats.
- **Les impacts environnementaux potentiels liés à la production d'énergie (potentiel de radiation ionisante, potentiel de changement climatique, épuisement potentiel des ressources fossiles..)** : ces indicateurs ressortent comme des enjeux significatifs du fait de la consommation énergétique liée à la production et à l'utilisation des équipements informatiques (ordinateurs de l'utilisateur et baies de stockage au sein des data centers).
  - Consommation directe des équipements en phase d'utilisation. Selon les résultats de cette étude, **rechercher une adresse Internet en utilisant un moteur de recherche équivaut à la consommation directe de 3,4 Wh**, soit environ 3 minutes et 30 secondes d'utilisation d'une ampoule de 60 W.
  - **Rechercher une adresse Internet en utilisant un moteur de recherche entraîne potentiellement une consommation d'énergie fossile équivalente à 0,8 g de pétrole [0,04-3,8 g éq.pétrole]**
  - **L'équivalent de 2,8 g de CO<sub>2</sub> [0,2-12,6 g éq.CO<sub>2</sub>] est émis** lors d'une requête web permettant de trouver une adresse Internet selon les hypothèses retenues.
  - **L'équivalent de 10 g de CO<sub>2</sub> [5-26 g éq.CO<sub>2</sub>] est émis** lorsqu'une information est obtenue en faisant une requête via un moteur de recherche et en consultant 5 résultats.

### D'OU VIENNENT LES IMPACTS?

Les impacts environnementaux potentiels associés à une requête web proviennent pour l'essentiel :

- **du temps passé sur l'ordinateur par l'utilisateur** : Les impacts environnementaux potentiels associés à une requête web proviennent notamment de la sollicitation de l'ordinateur de la personne effectuant la requête au travers notamment du temps passé pour la navigation sur les sites visités ;
- **du stockage des données indexées par le moteur de recherche** : La consommation d'électricité des baies de stockage qui sont sollicitées pour le stockage des données indexées par le moteur de recherche engendre des impacts importants.

Il est intéressant de noter que compte-tenu des profils d'utilisation très différents, les impacts environnementaux potentiels principaux des équipements informatiques ne concernent pas les mêmes étapes dans le cas de l'ordinateur de l'utilisateur et dans le cas des Data Centers. Ainsi, dans le premier cas, la production de l'équipement représente l'étape la plus impactante tandis que pour les Data Centers, c'est l'utilisation qui engendre l'essentiel des impacts. Cette différence s'explique par le type de profil d'utilisation : un profil d'utilisation intensif dans le cas du Data Center (utilisation 24h/24 7j/7) tandis que le profil d'utilisation de l'ordinateur est un profil de faible utilisation (moins de 5h par jour dans le scénario de référence).

### QUELS SONT LES PARAMETRES CLES?

Les analyses de sensibilité ont mis en avant que les résultats sont sensibles à différents paramètres. Le tableau présente les différents paramètres étudiés en fonction de leur influence sur les résultats. Il apparaît que le paramètre le plus sensible est la **taille de l'index, c'est-à-dire la quantité d'informations devant être stockées** pour une requête tandis que ce paramètre est soumis à une importante variabilité.

Paramètre	Scénario « recherche d'une adresse Internet »	Scénario « recherche d'une information »
Taille de l'index du moteur de recherche	+++	++
Localisation des Data Centers	+++	+
Type d'équipement (écran CRT ou LCD, ordinateur fixe ou portable)	++	++
Mode d'utilisation de l'ordinateur (durée d'utilisation quotidienne et durée de vie)	++	++
Mix énergétique pour le fonctionnement de l'ordinateur	+	++
Nombre de serveurs de recherche des résultats	≈	≈
Taille des pages web consultées	≈	≈

+++ Effet majeur

++ Effet moyen

+ Effet mineur

≈ Pas d'effet notable

## REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ASSOCIE A UNE REQUETE WEB

### **AU NIVEAU DE L'UTILISATEUR**

- **Opter pour un ordinateur plus respectueux de l'environnement et adapté à son profil d'utilisateur** : l'utilisateur peut par exemple opter pour un ordinateur certifié par l'écolabel européen ou ENERGY STAR (choix du modèle le plus performant en termes de rendement énergétique).
- **Eviter d'utiliser un moteur de recherche pour s'orienter vers un site dont on connaît déjà l'adresse.**

### **AU NIVEAU DES INFRASTRUCTURES**

- **Réduire le coefficient de performance énergétique (PUE) des Data Centers** : les pistes d'amélioration concernent notamment la climatisation des bâtiments.
- **Optimiser la performance énergétique des équipements informatiques (serveurs, baies de stockage...)** : en utilisant des technologies de virtualisation qui permette d'augmenter le taux d'utilisation des équipements et donc de diminuer le nombre d'équipements nécessaires. La technologie des serveurs *blade* contribue par exemple à l'optimisation des serveurs. En effet, la mutualisation entre serveurs de certains composants (alimentation, ventilateurs, ports réseaux...) permet des économies d'énergie.

### LIMITES ET INCERTITUDES DE L'ETUDE

Une des limites de l'étude découle de la variabilité des installations et des équipements. En effet, pour l'ensemble des équipements informatiques, des configurations « type » ont dû être modélisées, construites et analysées (serveurs, routeurs, disques durs, ordinateurs...).

A cette variabilité des équipements informatiques utilisés s'ajoute une variabilité des profils d'utilisation. Les analyses de sensibilités ont notamment permis de montrer que les impacts environnementaux associés à une requête web dépendaient, entre autres choses, du profil d'utilisation de l'ordinateur. Ainsi, plus un ordinateur est utilisé sur sa durée de vie plus les impacts associés à l'étape de production sont amortis et plus les impacts associés à la phase d'utilisation deviennent prépondérants. Ainsi, le profil environnemental d'une requête web dépend du profil d'utilisation.

Il faut également souligner qu'il est très complexe de définir une méthodologie permettant de ramener à une requête les impacts liés au fonctionnement d'un moteur de recherche. Il est ainsi difficile d'évaluer de manière fiable quels sont, pour une requête, les impacts potentiels associés aux étapes d'exploration du web par les robots d'indexation et au stockage des données indexées. Une approche est proposée dans cette étude mais des travaux complémentaires seraient nécessaires pour approfondir certains aspects. Il pourrait ainsi être intéressant d'évaluer comment les options de saisie semi automatique des requêtes, qui seront probablement appelées à se généraliser, peuvent affecter le bilan environnemental des requêtes.

Enfin, les résultats présentés sont issus des calculs réalisés en utilisant les modèles de la méthode d'évaluation des impacts Recipe et CML. Les impacts évalués sont des impacts potentiels (maximum) puisqu'aucune différenciation spatiale et temporelle n'est considérée. Les résultats de l'évaluation environnementale sont des expressions relatives qui ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, des marges de sécurité ou les risques. À ce titre, ces résultats ne doivent pas constituer l'unique base d'affirmation comparative destinée à être divulguée au public, dans la mesure où des informations supplémentaires seraient nécessaires pour remédier à certaines des limitations propres aux méthodes d'évaluation des impacts.