



ADEME

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

**Volet courrier électronique :
Synthèse**


Juillet 2011

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

Bio Intelligence Service S.A.S - 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

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 l'échange d'informations par courrier électronique**.

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'étude est destinée à être représentative de l'échange d'informations par courrier électronique dans un contexte d'utilisation chez les particuliers et professionnels. Le scénario choisi se base sur un courrier électronique permettant la transmission au format pdf d'un document de type Newsletter associant du texte et des images. 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. Ainsi, l'unité fonctionnelle utilisée dans cette étude est la suivante:

« Transmettre un document de 1 Mo à une personne »

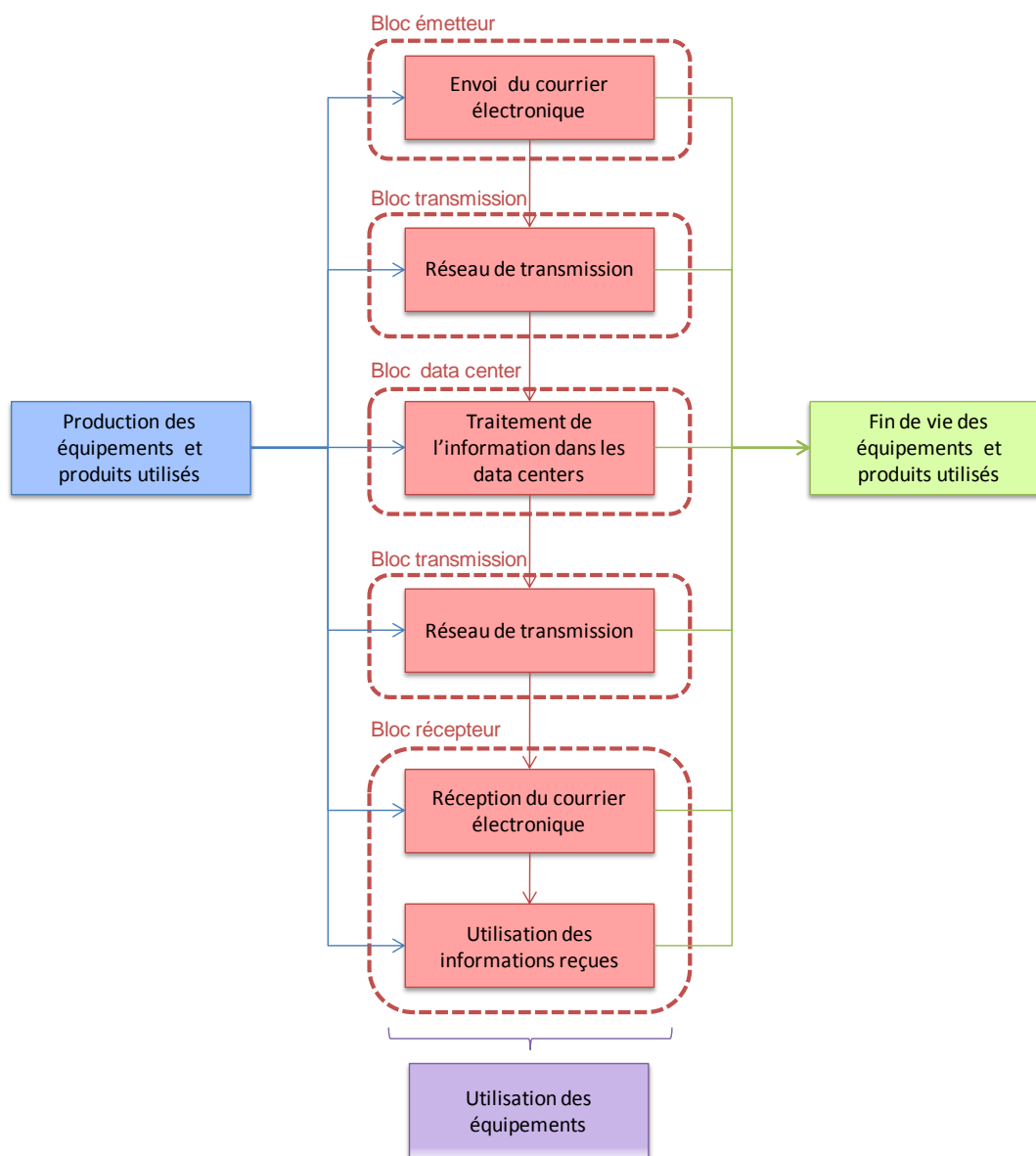
Pour évaluer les impacts environnementaux de l'envoi d'un courrier électronique, les étapes suivantes du cycle de vie ont été prises en compte:

- Fabrication des équipements électriques et électroniques (ordinateurs, serveurs...) et du papier dans le cas de l'impression du courrier ;
- Envoi et stockage éventuel sur serveur des éléments envoyés ;
- Transmission, depuis l'ordinateur émetteur jusqu'à l'ordinateur récepteur;
- Traitement de l'information au sein des centres de données ;
- Réception et utilisation des éléments reçus (lecture à l'écran, enregistrement sur serveur ou impression) ;
- Fin de vie des équipements utilisés, et du papier dans le cas de l'impression du courrier.

Le temps nécessaire à l'élaboration du document n'est pas pris en compte car dans le cadre du scénario choisi le type de document transmis est une pièce jointe qui n'a pas nécessairement été rédigée par l'émetteur. En outre, l'étape d'élaboration du document transmis est commune aux deux systèmes considérés.

Afin de réaliser l'étude, il a été nécessaire de reconstituer de manière approfondie l'intégralité du trajet d'un courrier électronique, depuis l'envoi par l'émetteur jusqu'au récepteur.

Il en résulte que la configuration qui a été retenue pour la modélisation ne doit pas être considérée comme une configuration « moyenne » représentative du cycle de vie d'un courrier électronique qu'il serait impossible de définir. **Il s'agit d'un scénario type que nous nous sommes efforcés de rendre le plus réaliste possible par le biais de recherches bibliographiques et d'échanges avec des professionnels et experts du secteur.**



Une modélisation du système par « blocs » a été établie en fonction des étapes principales du cycle de vie du courrier électronique : bloc émetteur, bloc transmission et bloc data center (émetteur et récepteur).

Principales hypothèses du scénario de référence

L'analyse détaillée des impacts de l'envoi et de la réception d'un courrier électronique qui est réalisée se base sur un **contexte « particulier » qui correspond au scénario de référence**. Les principales hypothèses qui ont été retenues pour ce scénario sont les suivantes :

- Envoi d'un mail de 1 Mo à une personne dans un contexte d'utilisation « particulier » et un contexte géographique français ;
- Lecture du document à l'écran par le destinataire – Pas d'impression. Un temps de lecture de 5 minutes est considéré ;
- La durée de stockage du mail par le destinataire est estimée à 1 an ;
- 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'émetteur et du destinataire ;
- 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 de 4 ans : pour l'unité centrale, l'ordinateur portable, le clavier, la souris et le chargeur de portable, de 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 ₂	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 ₂	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 transitent les flux d'information mis en œuvre lors de l'envoi et de la réception d'un courrier 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 les étapes d'utilisation des équipements par l'émetteur et le récepteur (ordinateurs, écrans). 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 mix énergétique français pour tous les équipements personnels (ordinateurs, écrans, imprimantes...). 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, par lesquels transite l'information, un contexte mondial a été considéré, compte tenu du fait qu'un message peut transiter via des centres de données situés dans différents pays y compris hors Europe.

Scénarios alternatifs étudiés

L'analyse détaillée des impacts de l'envoi et de la réception d'un courrier électronique qui est réalisée se base sur un **contexte « particulier » qui correspond au scénario de référence**. Néanmoins, une variante basée sur un **contexte « professionnel »** a également été étudiée. De plus, 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 : modèle énergétique utilisé pour la production d'électricité pour les différents équipements. Pour un pays donné, il correspond à la proportion des différentes sources d'énergie dans la production d'énergie (nucléaire, charbon,...). Type d'équipement : type d'ordinateur utilisé par l'émetteur et le récepteur (ordinateurs fixes avec écran CRT ou LCD, ou ordinateurs portables).
- Temps d'utilisation de l'ordinateur
- Durée de lecture du document reçu
- Type d'impression du document reçu : impression recto verso, nombre de page par feuille, impression couleur
- Mode d'utilisation de l'imprimante : utilisation par un particulier et par un professionnel
- Nombre de pages par Mo
- Coefficient de performance énergétique (PUE) des Data Centers qui correspond au ratio « consommation du data center / consommation des équipements IT »
- Durée de stockage du message par l'émetteur et récepteur
- Nombre de copies du message stockées
- Nombre de destinataires

Résultats obtenus pour le scénario de référence

Le tableau ci-après présente les résultats de l'étude en termes d'impacts potentiels pour l'unité fonctionnelle retenue - Transmettre un document de 1 Mo à une personne, suivant les hypothèses du scénario de référence.

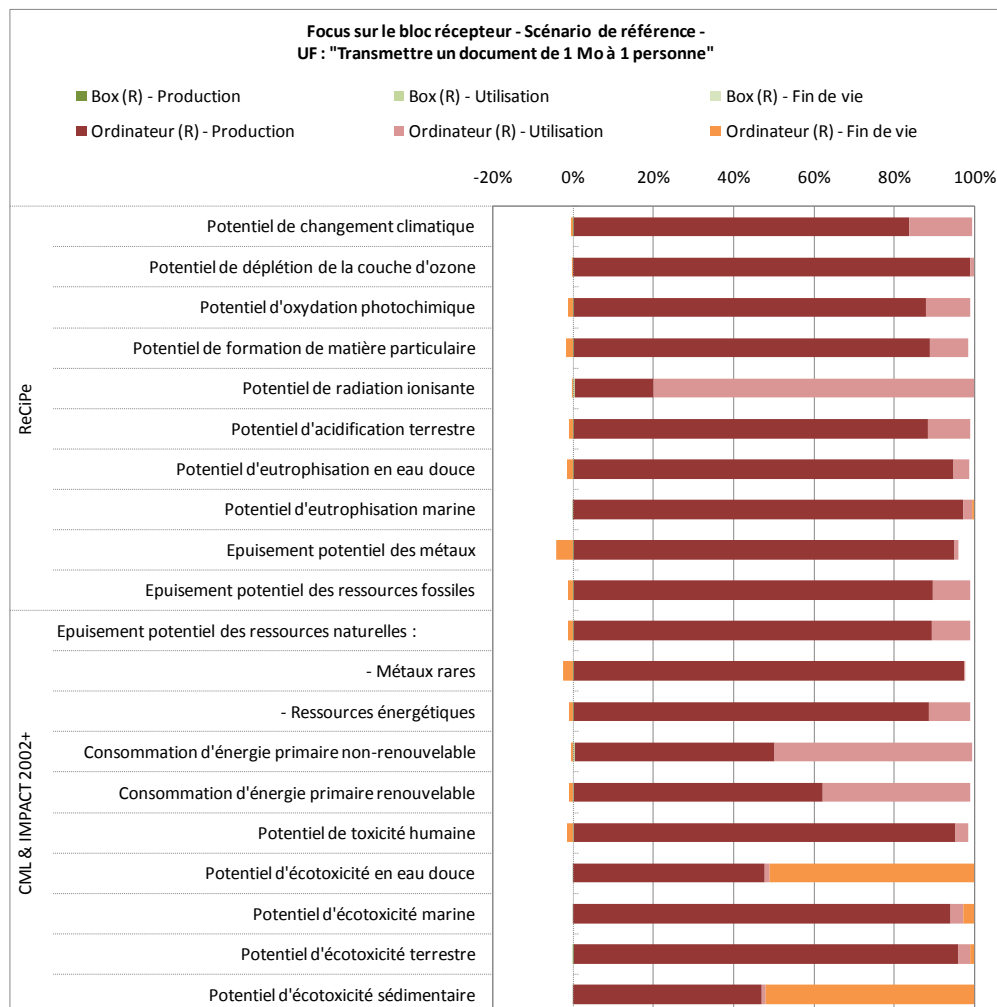
Les résultats pour les 20 indicateurs d'impact potentiel sont présentés par **principaux « blocs »** : émetteur, récepteur, Data Center émetteur, Data Center récepteur, transmission.

Indicateur	Unité	Méthode	Total	Bloc Emetteur	Bloc Récepteur	Bloc Data Center Emetteur	Bloc Data Center Récepteur	Bloc Transmission	
ReCiPe	Potentiel de changement climatique	g éq CO ₂	ReCiPe	22	18%	29%	26%	26%	0,78%
	Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	g éq CFC-11	ReCiPe	3,3E-06	27%	45%	14%	14%	0,45%
	Potentiel d'oxydation photochimique	g éq NMVOC	ReCiPe	0,064	21%	34%	22%	22%	1,23%
	Potentiel de formation de matière particulaire	g éq PM10	ReCiPe	0,034	21%	36%	20%	21%	1,72%
	Potentiel de radiation ionisante	g éq U235	ReCiPe	19	31%	51%	9%	9%	0,28%
	Potentiel d'acidification terrestre	g éq SO ₂	ReCiPe	0,10	20%	33%	22%	23%	1,66%
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	g éq P	ReCiPe	1,7E-03	34%	57%	3,7%	3,7%	0,98%
	Potentiel d'eutrophisation marine	g éq N	ReCiPe	0,030	33%	55%	5,5%	5,6%	0,31%
	Epuisement potentiel des métaux	g éq Fe	ReCiPe	7,5	35%	59%	2,2%	2,2%	1,94%
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	g éq pétrole	ReCiPe	6,1	15%	26%	29%	29%	0,93%
CML & IMPACT 2002+	Epuisement potentiel des ressources naturelles :	g éq Sb	CML	0,16	15%	25%	29%	29%	0,86%
	- Métaux rares	g éq Sb	CML	6,2E-04	36%	59%	2,4%	2,4%	0,19%
	- Ressources énergétiques	g éq Sb	CML	0,15	15%	24%	30%	30%	0,87%
	Consommation d'énergie primaire non-renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	0,45	22%	36%	21%	21%	0,68%
	Consommation d'énergie primaire renouvelable	MJ primaire	IMPACT 2002+	0,027	20%	33%	23%	24%	0,95%
	Potentiel de toxicité humaine	g éq 1,4-DB	CML	16	31%	52%	6,4%	6,5%	4,6%
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	g éq 1,4-DB	CML	9,9	28%	47%	1,8%	1,8%	22%
	Potentiel d'écotoxicité marine	g éq 1,4-DB	CML	35427	28%	47%	11%	12%	1,6%
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	g éq 1,4-DB	CML	0,12	28%	47%	10%	10%	5,0%
Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	g éq 1,4-DB	CML	25	28%	47%	1,7%	1,7%	22%	

Le **bloc récepteur** apparaît comme le principal contributeur pour la majorité des indicateurs tandis que le bloc transmission représente moins de 5% des impacts pour l'ensemble des indicateurs à l'exception de l'écotoxicité en eau douce et sédimentaire. On constate également que la contribution totale des infrastructures (somme des deux blocs Data Center et du bloc transmission) varie entre 5% et 60% en fonction des indicateurs. Les infrastructures représentent notamment plus de la moitié des impacts potentiels pour les indicateurs de potentiel de changement climatique et d'épuisement potentiel des ressources fossiles et naturelles.

- **Focus sur le bloc récepteur**

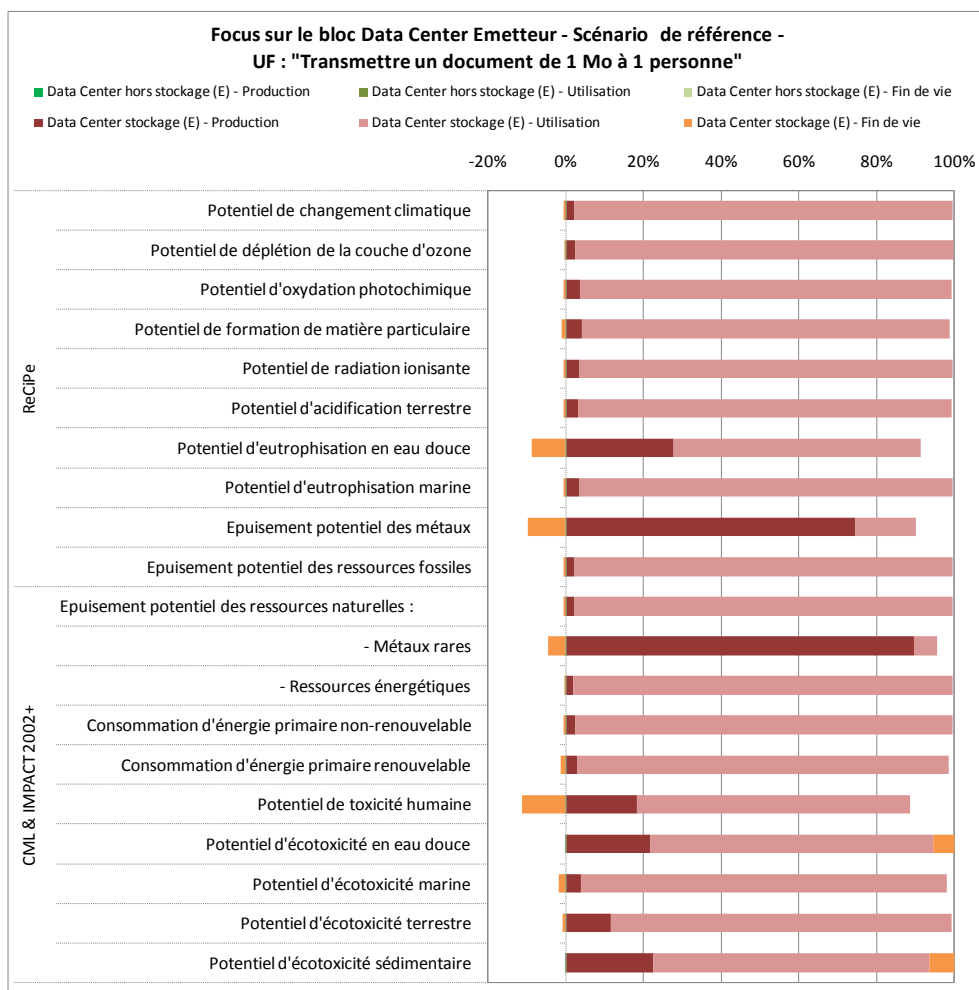
La figure suivante présente les résultats pour le bloc récepteur en détaillant la contribution des équipements utilisés et l'importance relative de chaque étape du cycle de vie (production, utilisation, fin de vie).



L'étape de **production de l'ordinateur** est responsable de plus de 80% des impacts pour la majorité des indicateurs. Néanmoins il faut noter que ce résultat est fortement lié aux hypothèses retenues sur la durée d'utilisation de l'ordinateur sur sa durée de vie qui détermine la « part » de la production de l'équipement alloué aux 5 minutes d'utilisation considérées.

- **Focus sur le bloc Data Center Emetteur**

La figure qui suit présente les résultats pour le bloc Data Center Emetteur en distinguant les étapes associées au stockage des autres étapes.



La quasi-totalité des impacts potentiels liés au bloc Data Center Emetteur proviennent du **stockage des messages**. La **consommation d'électricité des baies de stockage** est à l'origine de l'essentiel des impacts pour tous les indicateurs à l'exception de l'épuisement potentiel des métaux. Pour les deux indicateurs reflétant cet enjeu, c'est la consommation de métaux rares pour la fabrication des équipements informatiques qui explique les résultats obtenus.

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.

Le tableau suivant présente les impacts de 10 000 000 Unités Fonctionnelles normés par les impacts générés par un habitant Européen en un an. Les indicateurs avec des impacts mineurs apparaissent en jaune, ceux avec un impact moyen en orange et ceux avec un impact majeur en rouge.

	Indicateur	Valeur de référence par an et par habitant		Résultats normés pour le scénario de référence (pour 10 000 000 d'UF)
ReCiPe	Epuisement potentiel des métaux	714	kg éq Fe	105
	Potentiel d'eutrophisation en eau douce	0,25	kg éq P	66
	Epuisement potentiel des ressources fossiles	1 901	kg éq pétrole	32
	Potentiel de radiation ionisante	6 250	kg éq U235	30
	Potentiel d'acidification terrestre	34	kg éq SO ₂	30
	Potentiel d'eutrophisation marine	12	kg éq N	24
	Potentiel de formation de matière particulaire	15	kg éq PM10	23
	Potentiel de changement climatique	11 236	kg éq CO ₂	20
	Potentiel d'oxydation photochimique	56	kg éq NMVOC	11
	Potentiel de déplétion de la couche d'ozone	0,022	kg éq CFC-11	1,5
CML & IMPACT 2002+	Potentiel d'écotoxicité sédimentaire	415	kg éq 1,4-DB	591
	Potentiel d'écotoxicité en eau douce	210	kg éq 1,4-DB	474
	Potentiel de toxicité humaine	2 800	kg éq 1,4-DB	56
	Epuisement potentiel des ressources naturelles	60	kg éq Sb	26
	Potentiel d'écotoxicité terrestre	70	kg éq 1,4-DB	17

	Impacts supérieurs à 100 équivalents habitant
	Impacts compris entre 30 et 100 équivalents habitant
	Impacts inférieurs à 30 équivalents habitant

Parmi les indicateurs ReCiPe, les enjeux environnementaux principaux sont : **l'épuisement potentiel des métaux, le potentiel d'eutrophication, l'épuisement des ressources fossiles, le potentiel de radiation ionisante et le potentiel d'acidification terrestre.** Parmi les indicateurs CML et IMPACT 2002+, les indicateurs relatifs au **potentiels d'écotoxicité en eau douce et sédimentaires** et au **potentiel de toxicité humaine** ressortent comme prioritaires. Cependant il est important de rappeler qu'une grande incertitude est liée aux modèles utilisés pour les indicateurs de risques toxiques pour l'homme et les écosystèmes

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 aux courriers électroniques. 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 7,5 g de fer [5-13 g éq.Fe] est potentiellement consommé par mail de 1 Mo, soit l'équivalent du poids d'une pièce de 1 Euro.
- **Le potentiel d'eutrophisation 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 1,7 mg de phosphate [1,1-2,4 mg éq.P] est potentiellement émis dans l'eau par mail de 1 Mo.

- **Les impacts environnementaux potentiels liés à la production d'énergie (potentiel de radiation ionisante, potentiel de changement climatique, épuisement potentiel des ressources fossiles..)** : la contribution à ces impacts est associée à la consommation énergétique liée à la production de l'ordinateur et à la consommation électrique des baies de stockage dans les data centers.
 - Envoyer un courrier électronique de 1 Mo à 1 personne équivaut à la consommation directe de 25 Wh, soit 25 min d'utilisation d'une ampoule de 60 W.
 - Un mail de 1 Mo envoyé à une personne entraîne potentiellement une consommation d'énergie fossile équivalente à 6 g de pétrole [2-8 g éq.pétrole].
 - L'équivalent de 20 g de CO₂ [10-30 g éq.CO₂] est émis par mail de 1 Mo envoyé. Sur la base d'une hypothèse de vingt mails par jour par personne, cela représenterait annuellement les émissions de CO₂ équivalentes à plus de 1 000 km parcourus par voiture.

D'OU VIENNENT LES IMPACTS?

Les impacts environnementaux potentiels associés à l'envoi d'un courrier électronique de 1 Mo à 1 personne proviennent pour l'essentiel :

- **de l'émetteur et du destinataire du courrier** : l'envoi du message, la lecture du message et de la pièce jointe (8 min dans le scénario de référence) engendre des impacts importants sur le cycle de vie du courrier électronique. Au-delà de **l'utilisation d'énergie pour l'utilisation de l'ordinateur**, il ressort aussi que **la production de l'appareil (production des parties électroniques)** contribue de façon importante aux impacts du courrier électronique.
- **des Data Centers** : les impacts environnementaux potentiels proviennent **pour les Data Centers essentiellement du stockage des données**, et notamment à cause de **l'utilisation d'électricité**. Le mix énergétique utilisé apparaît ainsi comme un enjeu clé. En effet, le type de mix énergétique représente la proportion des différentes sources dans la production d'énergie ((nucléaire, charbon,...) spécifique à un pays. Le passage d'un mix énergétique à un autre peut avoir pour effet de modifier les impacts. Par exemple, le passage d'un mix énergétique français à un mix énergétique européen a pour effet de diminuer les impacts pour l'indicateur radiation ionisante puisque la part de nucléaire est plus importante au niveau français qu'au niveau européen. Ce constat souligne que les impacts associés aux Data Centers sont étroitement liés à la localisation de ces infrastructures, ce qu'il est important de garder à l'esprit à l'ère de la dématérialisation.

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'émetteur et du récepteur 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 le Data Center, 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?

L'analyse des résultats a mis en avant que les impacts environnementaux associés aux deux systèmes étudiés proviennent essentiellement de l'ordinateur de l'utilisateur et du stockage des données au sein des Data Centers. Ainsi, les principaux paramètres sont distingués en fonction du périmètre utilisateur ou Data Centers.

Les paramètres clés identifiés (grâce aux analyses de sensibilité) sont les suivants :

Utilisateur

- la consommation d'électricité de l'ordinateur de l'utilisateur ;
- la production et la fin de vie des composants électroniques de l'ordinateur ;
- l'éventuelle impression du courrier électronique ;

Data Centers

- la quantité d'électricité consommée par les équipements informatiques et annexes (climatisation...) et son origine ;
- la production et la fin de vie des composants électroniques des équipements utilisés pour le traitement et le stockage de l'information.

Par ailleurs, il est à noter qu'il existe des liens étroits entre le périmètre utilisateur et le périmètre Data Center. Par exemple, les impacts associés au stockage des courriers électroniques au niveau des Data Centers sont en partie déterminés par l'utilisateur qui décide de supprimer ou non les messages.

REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ASSOCIE A L'ENVOI D'UN COURRIER ELECTRONIQUE

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).
- **Optimiser le stockage** :
 - en stockant ces informations sur des disques durs ou en local.
 - en faisant du tri dans sa boîte de réception, supprimant les spams et vidant la corbeille
 - en envoyant un lien hypertexte plutôt qu'une pièce jointe afin de réduire la taille du message et donc la quantité d'informations stockées.
- **Privilégier une utilisation rationnelle de la messagerie électronique** : cibler les destinataires des messages envoyés, éviter une utilisation intempestive et non maîtrisée.
- **N'imprimer ses messages et pièces jointes qu'en cas de nécessité**

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 au cycle de vie du courrier électronique dépendaient, entre autres choses, du profil d'utilisation de l'ordinateur.

Enfin, il est important de rappeler que les données utilisées pour la production des composants électroniques dans cette étude ne sont pas directement issus d'industriels et des extrapolations pour la composition de certains équipements ont dû être réalisées.

Les résultats présentés sont par ailleurs 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.