

École polytechnique de Louvain

# **ErasMail, un outil open source pour aider les citoyens à évaluer et à réduire l'impact environnemental de leurs courriers électroniques dans le cloud**

Auteurs: **Edgar GEVORGYAN, Samir MARINI MOHAMED**

Promoteur: **Etienne RIVIERE**

Lecteurs: **Grégoire LITS, Clay PALMEIRA DA SILVA**

Année académique 2020–2021

Master [120] : ingénieur civil en informatique, en sciences informatiques



# Abstract

De nos jours, l'usage des emails ne cesse de croître, de plus en plus d'emails et de comptes sont créés chaque jour. En 2015, c'était 205 milliards d'emails envoyés et reçus, aujourd'hui ce sont plus de 306 milliards d'emails envoyés et reçus. Ces emails doivent être stockés dans des serveurs qui ont une consommation énergétique considérable. De plus, les utilisateurs ont pris l'habitude d'accéder à leurs anciens emails en un clic. Cet accès instantané requiert que les emails soient disponibles à tout moment. Il est donc impossible pour les fournisseurs d'archiver les emails anciens ou inutiles dans le but de réduire la consommation énergétique des serveurs. Ce modèle d'usage a pour conséquence que les emails sont une source de pollution importante. À cause de la nature immatérielle des emails, les utilisateurs n'ont souvent pas conscience du coût écologique important que représente leur boîte email. Ils sont donc souvent perçus comme « fictifs et sans coût ». Par ailleurs, même lorsque les utilisateurs ont conscience de la pollution générée par le stockage des emails, ils n'ont souvent pas les outils spécifiques pour pouvoir agir sur celle-ci. Dans ce mémoire, nous allons présenter notre solution pour pallier ce problème grâce à une application web open-source (<https://github.com/SamirM-BE/ErasmusMail/>) nommée **ErasmusMail** (<https://tfe-imap.info.ucl.ac.be/>) qui a pour objectif d'aider les citoyens à évaluer et à diminuer l'impact environnemental de leurs courriers électroniques en rendant à la fois visible le coût invisible des emails, en permettant d'agir pour réduire ce coût et en rendant l'expérience utilisateur la plus agréable possible afin que l'utilisateur soit incité à utiliser ErasmusMail un maximum de fois.



# Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le professeur Étienne Rivière, promoteur de ce mémoire, pour sa disponibilité, ses relectures, ses nombreux conseils ainsi que pour sa merveilleuse idée qui est ce mémoire, qui nous a tant fait plaisir.

Nous voulons aussi remercier nos familles pour leur support constant et qui nous ont écoutés nous plaindre à d'innombrables reprises.

Merci à l'équipe INGI de l'UCLouvain de nous avoir fourni une machine virtuelle sur laquelle nous avons pu héberger notre application web, ErasMail.

Merci aux 175 personnes qui ont accepté de répondre à notre enquête et qui nous ont permis de mieux comprendre notre problématique.

Enfin, nous adressons nos remerciements à nos amis, qui ont été les principaux testeurs d'ErasMail et qui nous ont accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de ce mémoire.



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Problématique . . . . .	6
1.2	Historique . . . . .	7
1.3	Enquête . . . . .	8
1.3.1	Résultats . . . . .	10
1.3.2	Conclusion . . . . .	17
1.4	Objectifs . . . . .	18
1.5	Plan . . . . .	19
<b>2</b>	<b>État de l’art</b>	<b>20</b>
2.1	Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails . . . . .	20
2.1.1	Conclusion . . . . .	23
2.2	Proposer des actions pour agir sur les emails . . . . .	23
2.2.1	Cleanfox . . . . .	23
2.2.2	Leave Me Alone . . . . .	24
2.2.3	Clean Email . . . . .	25
2.2.4	Autres . . . . .	26
2.2.5	Conclusion . . . . .	26
2.3	Inciter à l’utilisation d’ErasMail . . . . .	27
2.3.1	Le classement entre utilisateurs . . . . .	28
2.3.2	Les badges . . . . .	29
2.3.3	Les facteurs sociaux . . . . .	30
2.3.4	Conclusion . . . . .	31

<b>3</b>	<b>Vers un modèle de l'impact écologique du stockage des emails</b>	<b>32</b>
3.1	Les sources de pollution . . . . .	33
3.1.1	Le trajet des emails. . . . .	33
3.1.2	Périmètre . . . . .	34
3.2	Calcul . . . . .	35
3.2.1	Modélisation mathématique du coût écologique de stockage d'un email . . . . .	37
3.2.2	Borne inférieure . . . . .	38
3.2.3	Borne supérieure . . . . .	39
3.2.4	Conclusion . . . . .	41
<b>4</b>	<b>ErasMail</b>	<b>42</b>
4.1	Flux d'utilisation du logiciel ErasMail . . . . .	43
4.2	Modules . . . . .	44
4.2.1	Connexion . . . . .	44
4.2.2	Page de connexion . . . . .	45
4.2.3	Fils de discussion . . . . .	49
4.2.4	Newsletters . . . . .	51
4.2.5	Emails et filtres avancés . . . . .	52
4.2.6	Profil . . . . .	53
4.3	Concepts-clés . . . . .	56
4.3.1	Sensibilisation . . . . .	56
4.3.2	Incitatifs à l'utilisation d'ErasMail . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Mise en œuvre technique d'ErasMail</b>	<b>63</b>
5.1	Défis techniques . . . . .	64
5.1.1	Limiter la pollution engendrée par ErasMail . . . . .	65
5.1.2	Les aspects liés à la sécurité . . . . .	66
5.2	Choix de mise en œuvre . . . . .	67
5.2.1	Framework pour le client . . . . .	69
5.2.2	Framework pour le serveur . . . . .	69
5.3	Déploiement . . . . .	70

<b>6</b>	<b>Évaluation</b>	<b>71</b>
6.1	Composition du panel de testeurs . . . . .	72
6.2	Questionnaire . . . . .	74
6.2.1	Sensibiliser . . . . .	74
6.2.2	Permettre d’agir . . . . .	75
6.2.3	Inciter . . . . .	76
6.2.4	Conclusion . . . . .	78
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>79</b>
<b>A</b>	<b>Questionnaire pour l’évaluation</b>	<b>83</b>
A.1	Profil utilisateur . . . . .	83
A.2	Prise de conscience . . . . .	85
A.3	Permettre d’agir . . . . .	86
A.4	Inciter . . . . .	88
<b>B</b>	<b>Code source d’ErasMail</b>	<b>92</b>

# Chapitre 1

## Introduction

Plus que jamais, la pollution est une préoccupation centrale pour notre société. En effet, la pollution de l'air a des effets destructeurs tant bien sûr l'environnement que sur la santé de tous. En 2012, selon l'OMS, près de 7 millions de personnes sont mortes prématurément à cause de la pollution de l'air<sup>1</sup>. En 2017, ce chiffre est augmenté à environ 9 millions de morts prématurées<sup>2</sup>. Cette augmentation de la mortalité entre 2012 et 2017 nous montre bien que la pollution ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale.

Cette tendance ne nous rassure pas sur les dangers du réchauffement climatique auquel notre société doit faire face. Il est la cause, notamment, d'une hausse des catastrophes naturelles et d'une urgence humanitaire<sup>3 4</sup>. L'un des facteurs importants de ce réchauffement climatique est la pollution. En effet, les gaz à effet de serre provenant de la pollution favorisent le réchauffement climatique<sup>5</sup>.

Cette hausse de la pollution est principalement due au mode de vie de notre société<sup>6</sup>. De nos jours, la consommation d'énergie est omniprésente : le transport, le chauffage, la fabrication d'équipements informatiques, etc. Cette consommation et la production d'énergie font partie des causes de la pollution que nous rencontrons actuellement.

Bien que la pollution mondiale soit la conséquence de nombreuses raisons, le numérique a une grande part de responsabilité dans celle-ci. La pollution numérique, elle, est majoritairement le résultat de deux causes.

- 
1. <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>
  2. <https://www.thelancet.com/commissions/pollution-and-health>
  3. <https://www.greenpeace.fr/dereglement-climatique/>
  4. [https://ec.europa.eu/clima/change/consequences\\_fr](https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_fr)
  5. [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_fr](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_fr)
  6. <https://environnement.brussels/thematiques/air-climat/qualite-de-lair/les-sources-de-pollution>

La première est la pollution due à l'énergie primaire nécessaire à la fabrication des équipements informatiques des consommateurs. Selon l'ADEME<sup>7</sup>, en 2021, une personne en Europe occidentale aurait 8,9 équipements informatiques contre 5,3 en 2016. Toute la logistique pour fabriquer ces équipements et les recycler représente près de moitié la pollution causée par le secteur de l'IT.

L'autre moitié de la pollution est engendrée par le fonctionnement du réseau internet. En effet, les utilisateurs n'ont pas forcément une bonne connaissance de l'infrastructure nécessaire pour offrir les services connectés utilisés de façon courante. Cette infrastructure est composée d'une série d'équipements, tels que des serveurs, des disques durs, des câbles, des antennes, etc. Toutes ces technologies doivent non seulement être fabriquées, mais également être alimentées par une source d'électricité<sup>8</sup>.

Quel est donc l'impact du monde de l'IT dans la pollution mondiale ? En tout, le secteur de l'IT est responsable de près de 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre<sup>7</sup>. Sachant que l'usage des nouvelles technologies ne cesse d'augmenter, cette valeur pourrait doubler d'ici 2025 et pourrait devenir dans un futur proche la première source mondiale de pollution.

Greenpeace évalue depuis 2010 quelle est la demande énergétique d'Internet ainsi que les choix en matière d'énergie des plus grandes entreprises dans le domaine de l'IT. Pour compiler les informations sur ces entreprises, Greenpeace les contacte une à une et demande des informations sur leur empreinte énergétique. Une fois ces informations assemblées, Greenpeace attribue une note aux entreprises sur base des quatre critères :

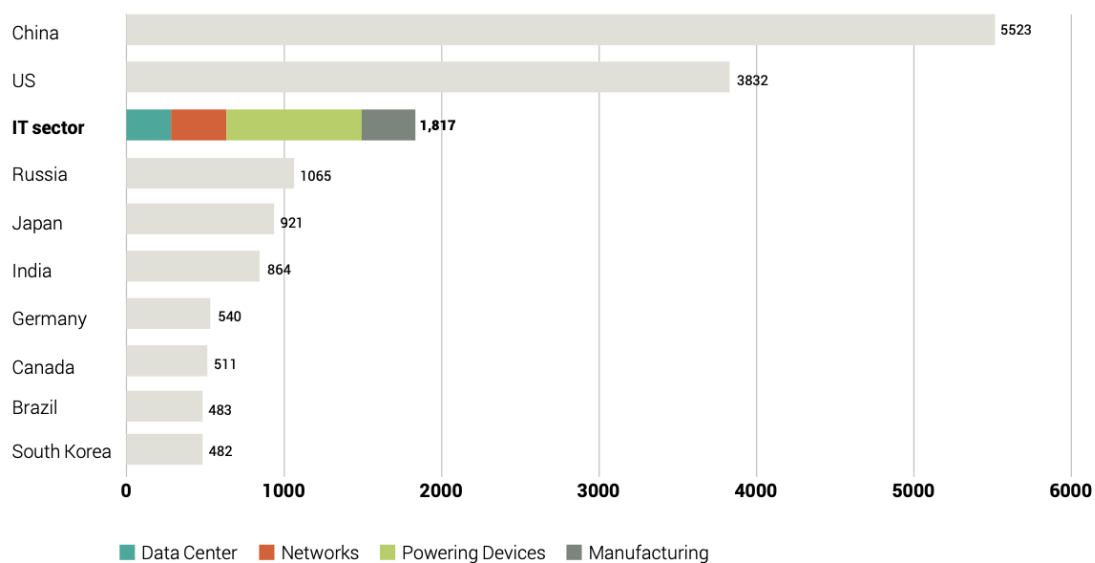
- Transparence (/25)
- Engagement en matière d'énergie renouvelable. (/25)
- Dispositions prises en matière d'énergie renouvelable (/20)
- Mélange d'énergies propres. (/30)

Greenpeace publie alors dans un rapport les résultats de l'enquête ainsi que les notes obtenues par les entreprises. Dans le dernier rapport datant de 2017, Greenpeace estime à partir des consommations électriques des pays de 2012 que si le secteur de l'IT était assimilé à un pays, il serait le 3e plus grand consommateur d'électricité derrière les États-Unis et la Chine. Greenpeace s'attend à ce que la consommation électrique du secteur de l'IT continue de croître de l'ordre de 7% annuellement.

---

7. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-face-cachee-numerique.pdf>

8. <https://www.greenpeace.fr/la-pollution-numerique/>

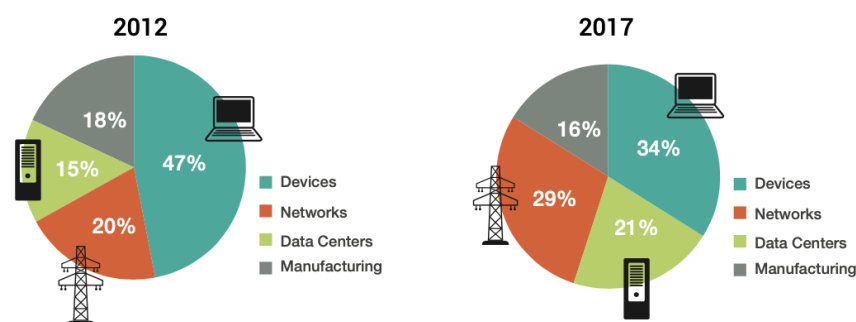


Source: *Emerging Trends in Electricity Consumption for Consumer ICT*, Peter Corcoran and Andres Andrae (2013) and CIA World Factbook. China/Russia/Canada figures are from 2014.

FIGURE 1.1 – La consommation d’électricité par pays et celui du secteur de l’IT en 2012 exprimé en milliard de kilowatts (Greenpeace<sup>9</sup>)

Dans le même rapport de Greenpeace, nous pouvons remarquer que la consommation d’électricité des centres de données est en nette augmentation entre 2012 et 2017 par rapport aux autres composantes du secteur du numérique. Cette augmentation peut s’expliquer par notre besoin de stocker de plus en plus d’informations sur internet, notamment sur les plates-formes telles que Facebook, Instagram, Twitter ou YouTube et bien d’autres. Toutes ces données sont stockées dans des centres de données fonctionnant à l’électricité. La production d’électricité émet, en général, des gaz à effet de serre considérables. En outre, cette accumulation de donnée a également pour conséquence la fabrication et le maintien d’un plus grand nombre de disques durs. Cela augmente donc la facture totale de l’empreinte écologique des centres de données.

9. <http://www.clickclean.org/downloads/ClickClean2016%20HiRes.pdf>



Main components of electricity consumption for the IT sector, 2012. From "Emerging Trends in Electricity Consumption for Consumer ICT"

FIGURE 1.2 – La proportion de consommations d’électricité des composants principaux du secteur de l’IT (Greenpeace<sup>9</sup>)

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux cas des emails, ce sont des formes de données que nous avons tendance à stocker de plus en plus. Comme peut le montrer la figure 1.3, le nombre d’emails envoyé et reçu par jour augmente en moyenne de 4.4% par an. En 2015, c’était 205,6 milliards d’emails envoyés et reçus, aujourd’hui ce sont 306,4 milliards d’emails envoyé et reçu quotidiennement<sup>10 11</sup> dont 60% ne seraient jamais ouverts<sup>12</sup>. La figure 1.4 montre également que le nombre d’utilisateurs ne cesse de croître, entre 2015 et 2020 celui-ci a presque doublé.

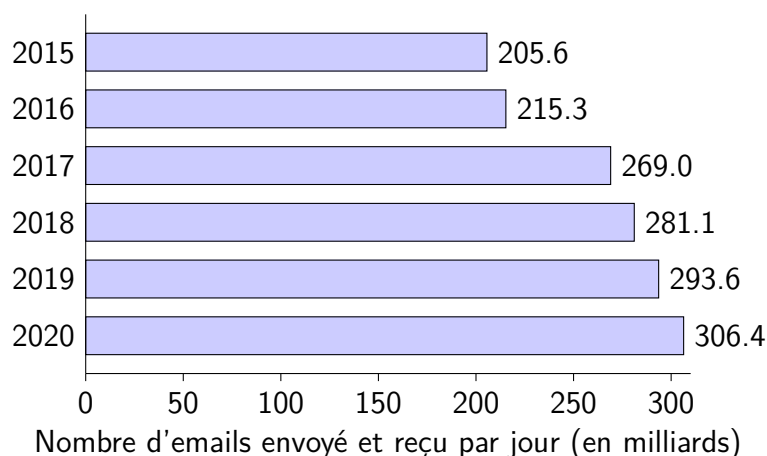


FIGURE 1.3 – Évolution du nombre d’emails envoyés et reçus quotidiennement par année (en milliards)

10. <https://www.radicati.com/wp/wp-content/uploads/2017/01/Email-Statistics-Report-2017-2021-Executive-Summary.pdf>

11. Ces nombres incluent uniquement les emails qui ont passé les filtres de spam.

12. <https://cleanfox.io/blog/a-la-une-sur-cleanfox-fr/livre-blanc-la-pollution-numerique-liee-aux-mails/>

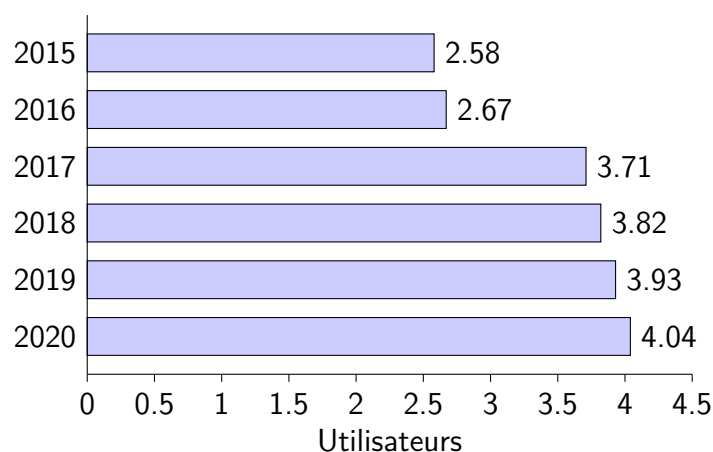


FIGURE 1.4 – Évolution du nombre d'utilisateurs par année (en milliards)

Le problème avec ces emails envoyés et reçus c'est qu'ils sont souvent perçus comme gratuits par une majorité de la population. Les utilisateurs ne paient généralement pas pour envoyer ou recevoir des emails et les limites de stockage des fournisseurs de service emails sont souvent bien trop généreuses pour être contraignantes. Cette perception de gratuité est dangereuse d'un point de vue écologique parce qu'elle incite à l'envoi et à la conservation de plus en plus d'emails alors que dans la réalité les emails ont un coût écologique important.

Aux premiers abords, l'utilisateur ordinaire pense que le coût de l'email qu'il envoie se résume à l'électricité requise par l'ordinateur ou le téléphone qu'il a utilisé pour sa rédaction. Or, nous pouvons voir à la figure 1.5 toutes les étapes par lesquelles un email transite lorsqu'un utilisateur décide de l'envoyer<sup>13</sup>. Chacune de ces étapes a une consommation énergétique non négligeable.

13. Il s'agit ici d'un scénario simple où l'utilisateur envoie un email à un seul destinataire appartenant à un autre fournisseur, d'autres scénarios sont possibles.

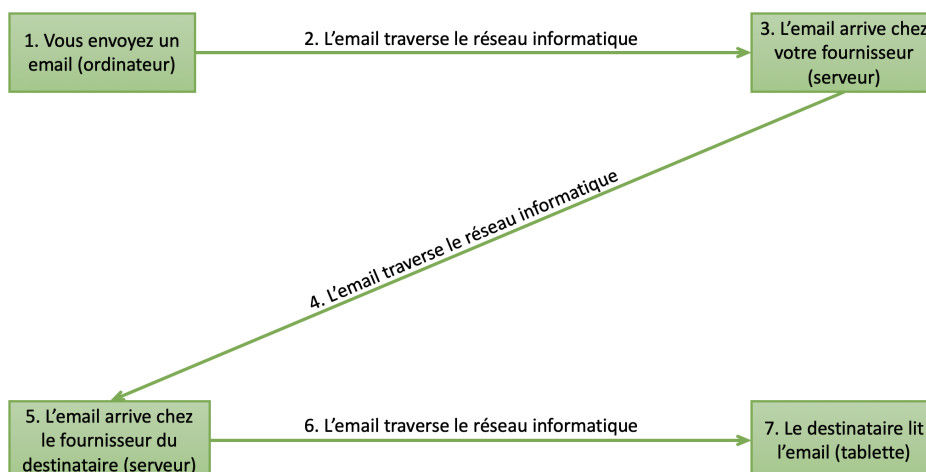


FIGURE 1.5 – Les étapes lors de l’envoi d’un email vers un seul destinataire

Dès lors, cette augmentation de l’usage des emails s’accompagne d’une augmentation de la pollution. C’est pour cette raison que nous voulons avec ce mémoire participer à la réduction de ce coût écologique en donnant aux utilisateurs des moyens d’agir et plus particulièrement en contribuant à la sensibilisation des utilisateurs.

## 1.1 Problématique

L’utilisation des services email et l’envoi d’emails ne cessent de croître au fil des années. De plus en plus d’emails sont envoyés chaque jour, ces emails se retrouvent alors stockés dans des centres de données ayant un besoin énergétique considérable. Ce besoin énergétique se justifie par le modèle de fonctionnement des emails. En effet, chaque utilisateur a le droit d’accéder à tous ses emails à tout moment. Cette contrainte empêche donc l’archivage des données et par conséquent une réduction potentielle des besoins énergétiques. L’énergie nécessaire pour faire fonctionner les centres de données est l’une des principales causes de la pollution numérique.

Les utilisateurs des services email n’ont souvent pas conscience de ce que la pollution générée par le stockage des emails représente exactement. Ces utilisateurs n’ont également pas des outils spécifiques pour réduire et évaluer l’impact écologique de leur boîte email.

C’est pour ces raisons que nous avons imaginé la création d’un logiciel qui rendra à la fois visible le coût invisible des emails et qui permettra d’identifier et d’agir sur les emails les plus polluants afin de contribuer à la diminution du problème. Se pose alors la question de comment faire en sorte que le développement

de ce logiciel ne soit pas vain et qu'il soit utilisé par un maximum d'utilisateurs ?

## 1.2 Historique

Pour mieux comprendre la problématique, il est important de faire un historique pour mettre en évidence l'origine du problème.

En 2004, il y avait 625 millions de comptes emails dans le monde. Hotmail était le service email le plus populaire de l'époque, il offrait notamment une capacité de stockage gratuite de 2 Mo à chaque utilisateur<sup>14</sup>, capacité très raisonnable pour un service gratuit en 2004.

Le 1er avril 2004, Google bouscule le monde des services email en lançant Gmail avec une capacité de stockage gratuite de 1 GB<sup>15</sup>, capacité inconcevable pour l'époque. Les deux principaux services concurrents de l'époque Hotmail et Yahoo sont obligés de réagir. Par conséquent, Yahoo augmente alors sa capacité de stockage gratuite de 4 à 100 Mo, Hotmail passera de 2 à 250 Mo.

En avril 2005, une année après le lancement de Gmail, Google surenchérit et augmente la capacité gratuite de son service à 2 GB avec la promesse aux utilisateurs d'augmenter cette capacité continuellement. Yahoo réagit la même année en augmentant son offre gratuite à 1 GB, Hotmail suivra seulement une année plus tard.

Cette surenchère initiée par Google est atteinte le 28 mars 2007 lorsque Yahoo annonce un stockage illimité gratuit pour tous ses utilisateurs<sup>16</sup>. Ce stockage illimité qui va durer jusqu'en octobre 2013 permet à Yahoo Mail de faire partie des fournisseurs email les plus populaires. Entre-temps, Gmail continua sa stratégie en augmentant d'année en année le stockage offert pour atteindre en 2013 les 15 GB encore proposés à l'heure actuelle.

Bien que les 2 Mo offerts par Hotmail en 2004 puissent sembler ridicules aujourd'hui, ce stockage limité forçait les utilisateurs à trier leurs emails et à ne conserver que les plus importants. Comme l'indique l'enquête utilisateur que nous présentons plus loin dans ce document, 83.4% des répondants n'ont jamais atteint la limite du stockage proposé. Aujourd'hui, ce grand stockage disponible donne généralement aux utilisateurs l'illusion qu'ils ont un stockage infini qui n'implique aucun coût et aucune conséquence.

Cette sensation de stockage illimité et sans coûts incite les utilisateurs à conserver

---

14. <https://www.pcworld.com/article/116657/article.html>

15. <http://edition.cnn.com/2010/TECH/04/01/cashmore.gmail/index.html>

16. <https://www.computerworld.com/article/2477120/yahoo--promises--unlimited--email--storage---and-the-world-.html>

la plupart de leurs emails, peu importe leur nature. Certains de ces emails sont des révisions de documents, des pourriels, des publicités, et de façon plus générale des emails sans importance qui ne seront jamais ouverts ou relus. Toutefois, ces emails ont un coût énergétique, ils sont stockés sur des serveurs qui nécessitent une immense consommation électrique. Cela produit des émissions de gaz à effet de serre considérables. Aujourd'hui, la consommation énergétique des serveurs représente 1% de la consommation énergétique mondiale.

## 1.3 Enquête

Afin de mieux cerner les objectifs que nous voulons atteindre, nous avons réalisé une enquête en ligne sur un échantillon 175 personnes aux profils variés entre le 27/03/2021 et le 07/04/2021.

L'enquête avait pour but de répondre aux questions suivantes :

1. La population a-t-elle conscience que le numérique, notamment les emails, pollue ?
2. Les valeurs utilisées pour quantifier la pollution (ex. grammes de CO<sub>2</sub>) sont-elles bien comprises par la population ?
3. La population connaît-elle les facteurs majeurs qui sont la source de cette pollution ?
4. Les utilisateurs de l'email essayent-ils de réduire la pollution générée par leurs emails ? Connaissent-ils quels sont les meilleurs moyens pour réduire celle-ci ?
5. La limite de stockage offerte par les fournisseurs de services email, est-elle généralement une contrainte pour les utilisateurs ?
6. Quelles sont les comparaisons les plus étonnantes permettant de quantifier la pollution ?
7. Les utilisateurs sont-ils prêts à utiliser un outil leur permettant de nettoyer leur boîte email si celui-ci existait ?

L'objectif de ce questionnaire était de déterminer le niveau de connaissance de la population sur la pollution numérique et plus concrètement celle engendrée par les emails.

Afin d'obtenir un échantillon de répondants assez représentatif, nous avons fait appel à des candidats dans différents groupes sur les réseaux sociaux. Parmi ceux-ci, il y a des groupes d'étudiants universitaires, d'autres groupes comprenant des citoyens ayant une vie active, ou encore des groupes formés de personnes à la retraite. Ainsi, nous avons récolté les réponses de 175 personnes aux profils variés.

Quel âge avez-vous ?

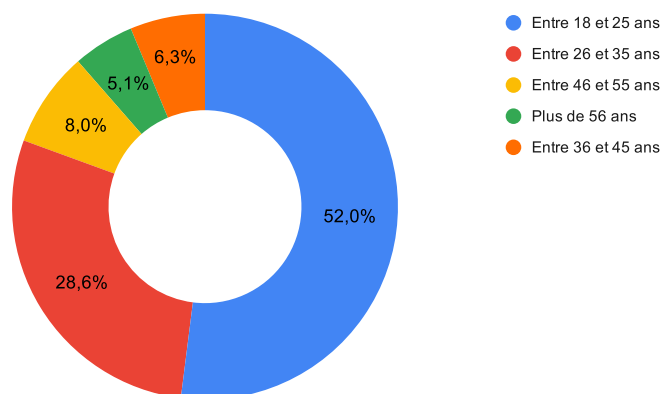


FIGURE 1.6 – Environ 80% des répondants ont entre 18 et 35 ans. Les 3 dernières classes d'âges se partagent équitablement les 20% restant.

La figure 1.6 indique que la majorité (52%) des questionnés ont entre 18 ans et 25 ans. Notez que 20% des répondants ont plus de 46 ans, dont 5% qui ont plus de 56 ans.

Si vous êtes étudiant, quel est votre domaine d'étude ?

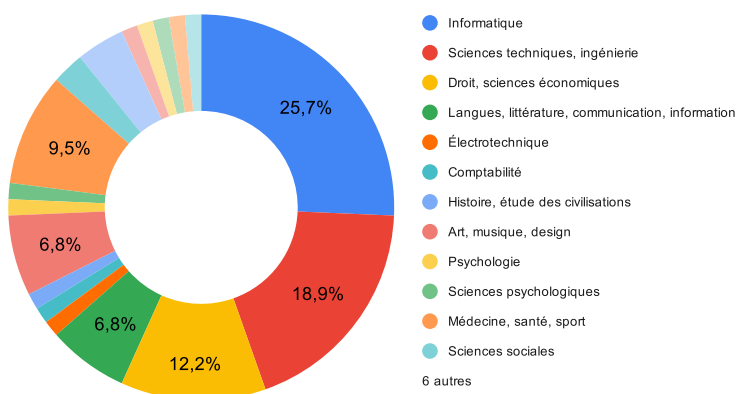


FIGURE 1.7 – Parmi les étudiants questionnés, la répartition des domaines d'études est assez variée malgré une domination de l'informatique et des sciences techniques

Nous avons comptabilisé 40% d'étudiants sur l'ensemble des personnes questionnées. Nous leur avons également demandé leur domaine d'études. La figure 1.7 montre qu'il y a en tout 20 domaines d'études différentes. Malgré que l'informatique et les sciences techniques dominent, les répondants sont plus ou moins bien répartis parmi les autres domaines d'études.

### 1.3.1 Résultats

Dans cette sous-section, nous présentons les résultats obtenus lors de notre enquête. Ensuite, nous ferons un récapitulatif des enseignements que nous pouvons tirer de ce questionnaire. Dans la section suivante, nous traduirons ces enseignements en objectifs que notre solution devra atteindre.

#### La population a-t-elle conscience que le numérique, notamment les emails, pollue ?

Tout d'abord, nous devons déterminer si la population a conscience que la pollution numérique existe. Pour ce faire, nous avons posé les questions suivantes :

- Avez-vous déjà entendu parler de la notion de « pollution numérique » ou de « pollution digitale »<sup>17</sup> ?
- Étiez-vous au courant de la pollution que les emails génèrent ?

Avez-vous déjà entendu parler de la notion de « pollution numérique » ou de "pollution digitale" ?

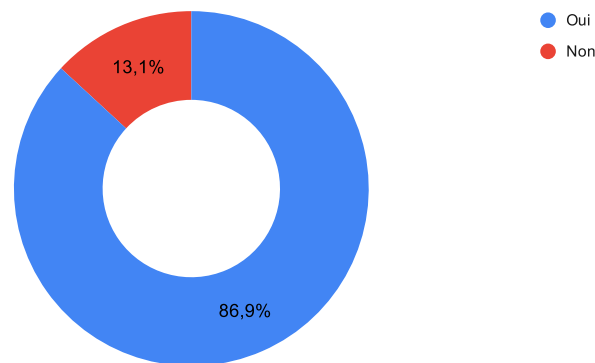


FIGURE 1.8 – Parmi les personnes ayant répondu au questionnaire, 86,9% des individus ont déjà entendu parler de la pollution numérique

86,9% des répondants (figure 1.8) ont déjà entendu parler de la pollution numérique et 81,1% des répondants (figure 1.9) ont conscience que les emails polluent. Étant donné qu'être au courant de la pollution numérique n'est pas équivalent à comprendre celle-ci, dans les questions suivantes, nous évaluerons les connaissances de la population sur les points suivants :

- Identifier les causes majeures de la pollution des emails.
- Comprendre les différents ordres de grandeur utilisés pour caractériser la pollution.

---

17. Dérivé de l'anglais, utilisé couramment par la population.

Étiez-vous au courant de la pollution que les emails génèrent ?

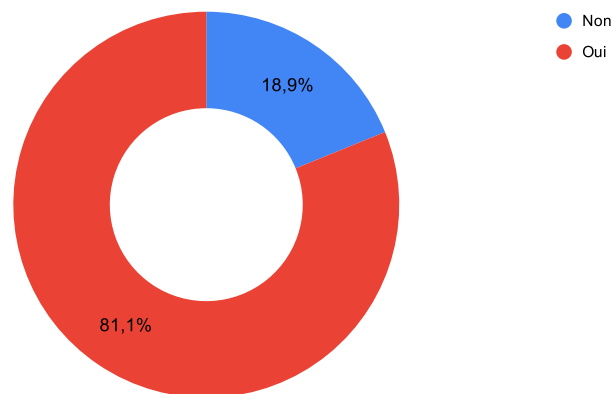


FIGURE 1.9 – 81,1% des répondants étaient conscients que les emails génèrent de la pollution

### Les valeurs utilisées pour quantifier la pollution (ex : gramme de CO<sub>2</sub>) sont-elles bien comprises par la population ?

Avant de parler des causes de la pollution numérique, il convient de vérifier si la population est capable d'identifier les ordres de grandeur. Notre objectif sera de répondre à ces questions :

- Est-ce que les personnes sont capables de cerner les ordres de grandeur ?
- Est-ce que les citoyens peuvent quantifier la pollution avec des unités scientifiques telles que les grammes de CO<sub>2</sub> ?

Lorsqu'on parle de pollution, on mesure souvent celle-ci en grammes/kilos/tonnes de CO<sub>2</sub>. Pensez-vous avoir une idée claire de ce que ces mesures représentent ?

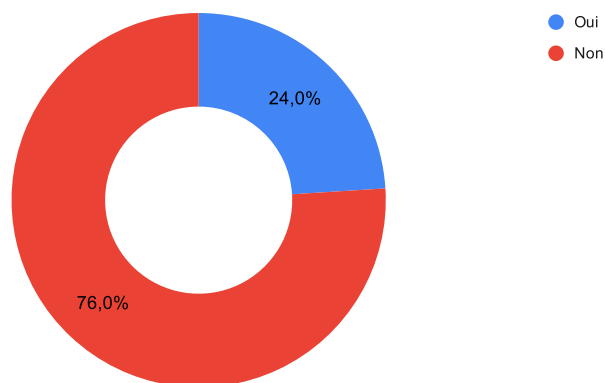


FIGURE 1.10 – 76% des répondants pensent qu'ils ne savent pas exactement ce que représentent les unités de mesure utiliser pour quantifier la pollution

Comme la figure 1.10 le montre, 76% des répondants ne savent pas ce que représentent les unités scientifiques utilisées pour quantifier la pollution. Cette hypothèse se confirme avec la figure 1.11, seulement un tiers des répondants ont su répondre correctement à cette question. Une tonne de CO<sub>2</sub> représente environ 6.000 km parcourus avec une voiture diesel.

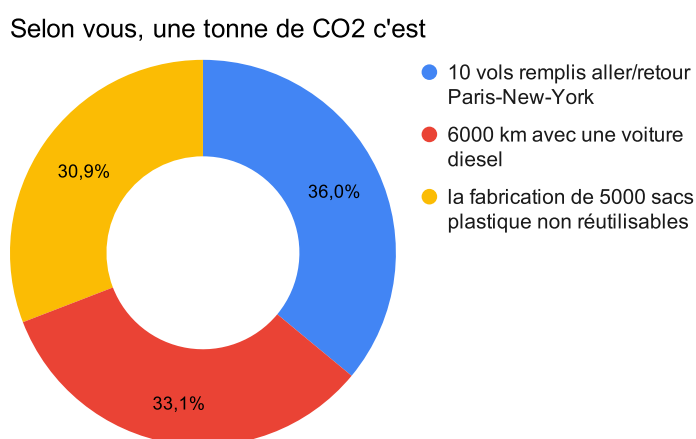


FIGURE 1.11 – Seulement 33,1% des personnes ont sélectionné la bonne réponse : 6.000 km avec une voiture diesel

Les figures 1.10 et 1.11 nous montrent que le grand public éprouve des difficultés à bien cerner les ordres de grandeur. Cela les empêche de quantifier correctement la pollution.

Par conséquent, il est nécessaire de sensibiliser la population en prenant en compte que celle-ci ne distingue pas aisément les ordres de grandeur.

### **La population connaît-elle les facteurs majeurs qui sont la source de cette pollution ?**

À présent, évaluons la connaissance des citoyens sur les causes de la pollution des emails. L'objectif de cette question sera de répondre à la question suivante : est-ce que la population est capable d'identifier les causes majeures de la pollution des emails ?

Parmi les propositions suivantes, quelle est selon vous la source de pollution la plus importante lorsqu'on parle d'emails ?

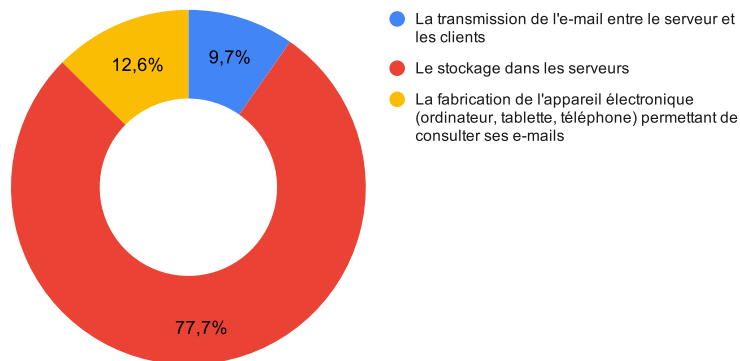


FIGURE 1.12 – Étant donné que la source principale de pollution est la fabrication d'appareils électroniques, cette question nous montre que 87.4% des répondants ne savent pas vraiment quelles sont les sources de la pollution numérique

Nous avons vu que la grande majorité des répondants ont déjà entendu parler de la pollution numérique. Cependant, la figure 1.12 montre que 87.4% des répondants se trompent sur le facteur le plus important lorsqu'il s'agit de pollution des emails. Les citoyens savent que cette pollution existe, mais ne connaissent pas tous ses tenants et aboutissants. Donc, ils ne peuvent pas agir efficacement pour la réduire.

Bien que les répondants soient conscients de l'existence de la pollution numérique, il est également opportun de les sensibiliser aux causes de cette pollution.

### **Les utilisateurs emails essaient-ils de réduire la pollution générée par leurs emails ? Savent-ils quels sont les meilleurs moyens pour réduire celle-ci ?**

Après avoir évalué les connaissances de nos répondants en matière de pollution numérique. Voyons si les citoyens diminuent, de manière autonome, la pollution générée par leur boîte email. L'objectif sera de répondre à ces questions :

- Est-ce que les citoyens nettoient leurs boîtes email de leur plein gré ?
- Est-ce qu'ils savent comment nettoyer efficacement - d'un point de vue écologique - leurs boîtes email ?

À quelle fréquence nettoyez vous vos boîtes e-mails ? (supprimer des e-mails inutiles, les ranger dans des dossiers, ...)

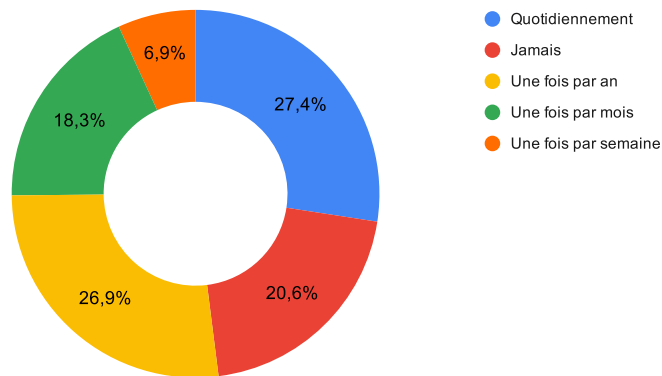


FIGURE 1.13 – Ces résultats nous montrent que près de la moitié des répondants nettoient leurs boîtes email moins d’une fois par an

Parmi ces propositions quelles sont, selon vous, les deux meilleures actions qui permettraient de réduire la pollution générée par vos e-mails ?

175 réponses

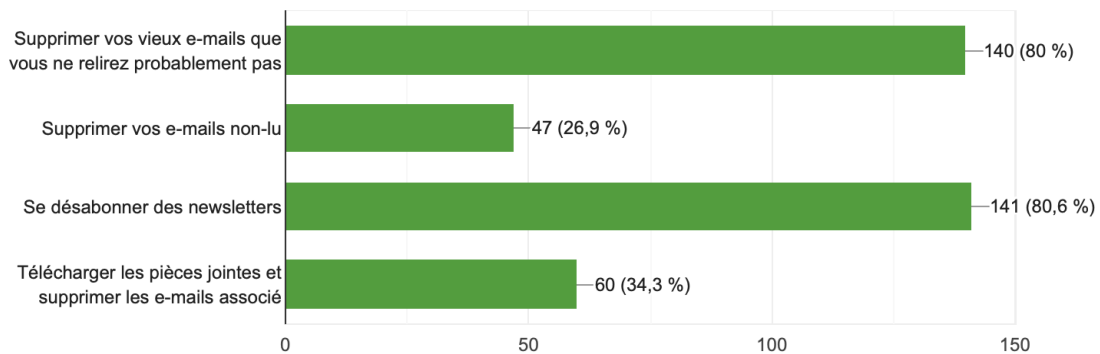


FIGURE 1.14 – Seulement 34,3% des personnes ont répondu « Télécharger les pièces jointes et supprimer les emails associés », c’est la meilleure action qui permettrait de réduire la pollution générée par les boîtes email

Près de la moitié des participants indiquent nettoyer leurs boîtes email au moins une fois par mois, tandis que l’autre moitié le fait au plus une fois par an (figure 1.13). De plus, la figure 1.14 montre que la majorité des personnes n’identifient pas correctement quelle est l’action la plus efficace pour réduire la pollution des emails stockés. Seulement 34,3% ont coché à la bonne réponse : « Télécharger les pièces jointes et supprimer les emails associés ».

Sur base de ces chiffres, nous pouvons déduire que notre solution devrait guider

les citoyens à trouver facilement les emails les plus polluants. De plus, il faudrait inciter une partie de la population à nettoyer régulièrement leurs boîtes email.

### **La limite de stockage offerte par les fournisseurs email, est-elle généralement une contrainte pour les utilisateurs ?**

Précédemment, dans la section 1.2, nous avons émis l'hypothèse que les citoyens ont l'illusion d'une capacité de stockage infinie de leurs emails. Cette question aura pour objectif de renforcer cette hypothèse ou alors de prouver le contraire.

Avez vous déjà atteint la limite de stockage que votre fournisseur email (Gmail, Outlook, ...) vous offre gratuitement ?

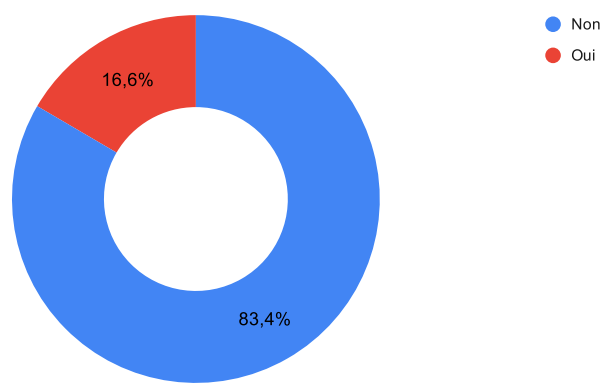


FIGURE 1.15 – 83,4% des répondants n'ont jamais atteint la limite de stockage de leurs fournisseurs email

83.4% des questionnés (figure 1.15) indiquent ne jamais avoir atteint la limite maximum de stockage offerte par leurs fournisseurs email. Une limite qui n'est jamais atteinte renforce le constat que les citoyens ont l'illusion d'un stockage illimité, comme expliqué dans la section précédente.

### **Quelles sont les comparaisons les plus étonnantes permettant de quantifier la pollution ?**

Auparavant, nous avons déterminé que la grande majorité des personnes interrogées ne savaient pas distinguer les ordres de grandeur. Dès lors, il serait inutile de communiquer la pollution avec des unités scientifiques. Une alternative est de fournir des comparaisons avec des objets du quotidien. Cette question aura pour but de déterminer les comparaisons les plus surprenantes aux yeux de nos répondants.

Une boîte email remplie à 2GB génère 38 kg de CO2 annuellement. 38 kg, ce qui est équivalent aux 3 propositions ci-dessous. Laquelle vous surprend le plus ?

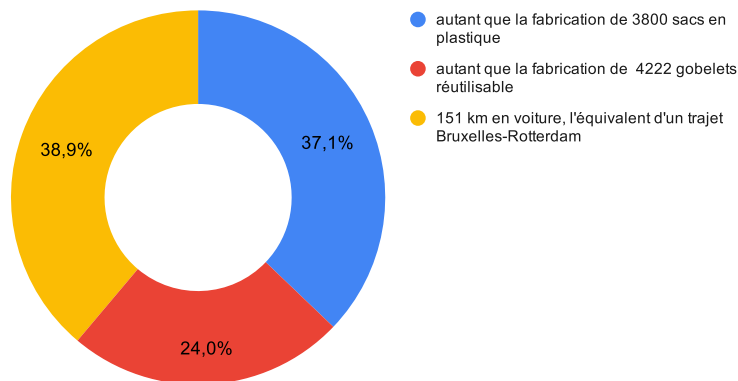


FIGURE 1.16 – La comparaison avec la pollution émise par la fabrication de sacs en plastique et celle générée par une voiture sont toutes les deux aussi surprenantes l’une que l’autre

Une boîte email remplie à 5GB génère 95 kg de CO2 annuellement. 95 kg, ce qui est équivalent aux 3 propositions ci-dessous. Laquelle vous surprend le plus ?

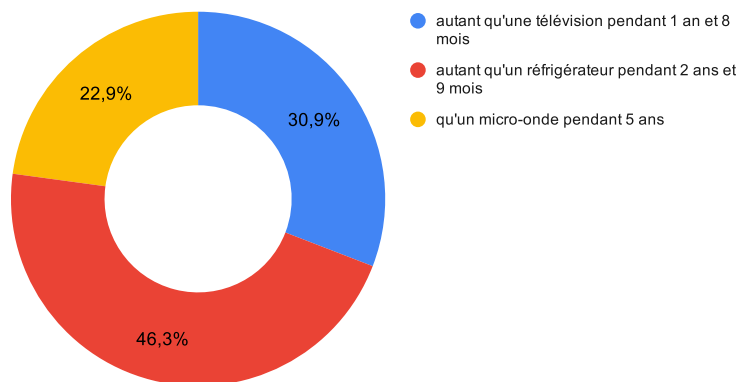


FIGURE 1.17 – Près de la moitié des répondants trouvent que la comparaison avec la pollution émise par une télévision est plus frappante qu’une comparaison avec la pollution générée par un micro-ondes ou encore celle générée par un réfrigérateur

Les figures 1.16 et 1.17 nous ont permis de déterminer quelles étaient les comparaisons les plus surprenantes. Ces informations nous seront utiles pour sensibiliser les citoyens à travers notre solution.

## Les utilisateurs sont-ils prêts à utiliser un outil leur permettant de nettoyer leur boîte email si celui-ci existait ?

Finalement, il ne nous reste plus qu'à savoir si un logiciel informatique permettant de nettoyer les boîtes email serait utile aux citoyens. Cette question permettra de mettre en évidence le besoin de la population pour un tel outil.

Si un outil vous permettant de nettoyer votre boîte e-mail existait, utiliseriez-vous celui-ci pour réduire l'impact environnemental que représente vos e-mails ?

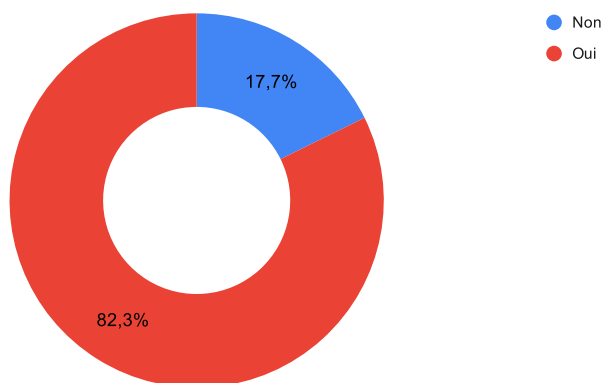


FIGURE 1.18 – 82,3% des répondants sont favorables à l'utilisation d'un outil de nettoyage d'une boîte email si celui-ci existe

La majorité des personnes questionnées sont prêtes à nettoyer leur boîte email afin de réduire leur impact environnemental si un tel outil le leur permettait (figure 1.18). Ce résultat montre bien qu'un besoin d'un tel outil existe auprès de la population.

### 1.3.2 Conclusion

Sur base des résultats de notre enquête, nous pouvons en tirer les enseignements suivants :

- Un moyen de sensibilisation est essentiel parce que les citoyens n'ont pas une bonne connaissance de la pollution numérique et de tous ses tenants et aboutissants.
- Une comparaison de la pollution des emails avec celle de la fabrication de sacs plastiques, de la télévision ou encore de la voiture est une comparaison frappante pour les répondants.
- Un système de gamification est nécessaire pour inciter les citoyens à nettoyer régulièrement leurs boîtes email. Pour rappel, près de la moitié des répondants nettoient leurs boîtes email moins d'une fois par an.

- Notre solution doit permettre à la population de trouver facilement les emails les plus polluants. Uniquement 34,3% des répondants pensent que les pièces jointes sont une source de pollution importante.

## 1.4 Objectifs

Ce mémoire a pour objectif d'aider les citoyens à évaluer et à diminuer l'impact environnemental de leurs courriers électroniques en leur proposant un logiciel — ErasMail — leur permettant de réduire le stockage qu'ils utilisent dans le cloud en nettoyant leur boîte email. Cet objectif peut être traduit en trois sous-objectifs :

### **Objectif 1 : Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails**

76% des personnes interrogées lors de notre enquête ne savent pas ce que représentent exactement les valeurs exprimées en CO<sub>2</sub>. Un outil permettant de diminuer la pollution des emails ne peut être efficace si les utilisateurs ne prennent pas conscience de leur impact environnemental.

Notre avons contribué à ce premier objectif en mettant en place les éléments suivants :

1. La création d'un modèle permettant d'illustrer quantitativement l'empreinte carbone du stockage d'un email. Dans ce modèle, nous sommes arrivés à la conclusion qu'un email de 1 Mo stocké pendant une année pollueait 0,29 g de CO<sub>2</sub>.
2. La détermination de comparatifs compréhensible permettant d'illustrer les valeurs utilisées pour quantifier la pollution souvent exprimées en grammes de CO<sub>2</sub>. Ces comparaisons ont été choisies sur base de l'enquête, détaillée à la section précédente, qui demandait de mettre en évidence les comparaisons les plus surprenantes.

### **Objectif 2 : Proposer des actions pour agir sur la consommation d'énergie du stockage des emails**

82.3% des personnes interrogées lors de notre enquête seraient prêtes à agir à travers un outil si un tel outil existait. Les citoyens n'ont pas d'outils spécifiques permettant d'identifier et de supprimer les emails les plus polluants.

Notre avons contribué à ce deuxième objectif en développant un logiciel nommé ErasMail. Ce dernier permet d'analyser les boîtes email des utilisateurs et de mettre

en évidence grâce à des filtres sophistiqués les groupes d'emails les plus polluants. Ces filtres donnent le pouvoir aux utilisateurs d'agir de façon ciblée et efficace sur ces groupes d'emails. ErasMail intègre au coeur de toutes ses fonctionnalités le modèle décrit dans le précédent objectif, il l'utilise comme l'outil principal de sensibilisation.

### **Objectif 3 : Inciter à l'utilisation d'ErasMail**

Notre troisième objectif est qu'ErasMail soit utilisé par un maximum de personnes. Si nous voulons avoir le plus grand impact possible et ainsi participer à la diminution de l'empreinte écologique des emails, nous devons mettre en place des stratégies permettant d'atteindre un maximum de personnes.

Notre avons contribué à ce troisième objectif en mettant en place les éléments suivants :

- L'utilisation d'un système de badges qu'on peut gagner en atteignant des paliers.
- La mise en place d'un classement entre utilisateurs se basant sur un total de points obtenus.
- Un système de niveaux à débloquer par l'utilisation de certaines fonctionnalités.

Ces trois mécanismes de gamification ont été mis en place pour donner à l'utilisateur des objectifs à accomplir et ainsi motiver celui-ci à supprimer un maximum d'emails. Nous proposons également à chaque fois un système de partage (des badges, classements ou niveaux) sur les réseaux sociaux. Nous espérons ainsi inciter un maximum de personnes à travers les partages de leurs amis.

## **1.5 Plan**

Tout d'abord, nous passerons en revue les différents travaux et solutions actuelles qui répondent à l'un ou plusieurs de nos trois objectifs cités précédemment (chapitre 2). Par la suite, nous quantifierons le coût énergétique du stockage des emails dans le cloud (chapitre 3). Nous présenterons notre solution finale ErasMail en commençant par décrire ses fonctionnalités dans le chapitre 4 puis sa mise en œuvre dans le chapitre 4. Avant de conclure, nous évaluerons notre site web dans le chapitre 6 avec une étude d'utilisabilité.

# Chapitre 2

## État de l'art

Avant que nous présentions notre solution ErasMail, nous allons passer en revue les travaux et solutions actuelles qui répondent à l'un ou plusieurs de nos trois objectifs, cités dans l'introduction. Pour rappel, ces trois objectifs sont :

1. Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails.
2. Proposer des actions pour agir sur les emails.
3. Inciter à l'utilisation d'ErasMail.

### 2.1 Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails

Avec ErasMail, la première chose que nous voulons faire c'est de rendre visibles les coûts invisibles des emails. Il y a deux coûts que nous voulons mettre en évidence :

1. L'empreinte carbone du stockage d'un email
2. L'empreinte carbone totale d'un email, c'est à dire, qui prend en compte l'écriture, le transfert, la réception, la lecture et le stockage de l'email.

Le premier coût que nous identifions comme **coût de stockage** sera utilisé de deux façons :

- Sensibiliser les utilisateurs sur la pollution que leurs emails stockés inutilement produiront
- Indiquer aux utilisateurs la pollution future qu'ils ont évité en supprimant des emails

Supprimer des emails ne permet pas de réduire d'autres coûts que celui du stockage, les emails ont déjà été écrits, envoyés et lus. La pollution a donc déjà été générée à ces étapes-là.

Le deuxième que nous identifions comme **coût total**, sera lui, utilisé pour sensibiliser quant à la pollution déjà générée par les emails que les utilisateurs ont précédemment reçus ou qu'ils recevront par exemple via des newsletters.

Pour déterminer ces coûts, nous allons passer en revue dans cette section les différents documents et auteurs ayant tenté d'obtenir une estimation de la pollution générée par un email.

### **How Bad Are Bananas? The Carbon Footprint of Everything - Mike Berners-Lee**

En 2009, Mike Berners-Lee un physicien anglais de l'université de Lancaster publie un livre appelé « How Bad are Bananas? : The Carbon Footprint of Everything » [3]. Dans ce livre, il évalue l'impact environnemental d'une centaine d'objets du quotidien en les ordonnant du moins polluant au plus polluant. Par exemple, il estime qu'une rose achetée chez le fleuriste a une plus grande empreinte carbone que conduire une voiture pendant 2 km.

Dans le chapitre du livre qui énumère les objets ayant une empreinte carbone inférieure à 10 g de CO<sub>2</sub>, il y aborde la question de l'email pour arriver à la conclusion qu'un email normal génère **4 g de CO<sub>2</sub>**.

Bien que le Professeur Berners-Lee arrive à une valeur très précise de 4 g de CO<sub>2</sub> pour la pollution générée par un email normal, celui-ci ne détaille pas ce qu'il considère être un email « normal » et ne précise pas le périmètre du modèle utilisé pour calculer cette valeur. Nous ne savons dès lors pas s'il s'agit du coût d'envoi, du coût de stockage ou à d'un autre coût.

Nous avons essayé de contacter Monsieur Berners-Lee pour obtenir de plus amples renseignements sur la méthode employée, mais il ne nous a pas répondu.

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

En 2011, l'ADEME [7], l'agence française de la transition écologique, mandate BIO Intelligence Service pour évaluer l'impact environnemental de trois comportements d'utilisation du numérique, un de ces comportements est l'envoi d'un email à une personne. Le but de l'étude est d'obtenir une valeur sur laquelle ils pourraient baser leurs campagnes de sensibilisation à la pollution numérique.

Pour estimer l'impact environnemental de l'envoi d'un email, ils choisissent un email de 1 Mo dans un contexte d'utilisation professionnel en France qui serait envoyé et stocké dans un serveur pendant une année.

Les auteurs arrivent à la conclusion que l'envoi d'un email de 1 Mo et son stockage sur un serveur pendant une année engendrent une pollution de **19g de CO<sub>2</sub>**.

Dans cette étude les auteurs détaillent bien à quoi correspondent un email et le périmètre associé au modèle employé, ce périmètre correspond au deuxième coût que nous recherchions, celui incluant toutes les étapes du cycle de vie de l'email. **C'est donc cette valeur-là que nous utiliserons dans ErasMail lorsque nous sensibiliserons l'utilisateur au coût total d'un email.**

Nous avons essayé de contacter les auteurs afin d'obtenir plus de renseignements sur le modèle utilisé et ainsi pouvoir le restreindre seulement au coût du stockage, mais malheureusement nous n'avons pas obtenu de réponse.

### **The Energy Efficiency Potential of Cloud-Based Software : A U.S. Case Study - Lawrence Berkeley National Laboratory**

En 2013, l'Université Northwestern et le Laboratoire national Lawrence-Berkeley [16] collaborent avec Google afin de mettre en évidence l'économie énergétique possible si les entreprises passaient d'un stockage des emails en local vers un stockage dans le cloud. Ils concluent que si toutes les entreprises américaines passaient leurs emails vers le cloud, les économies d'énergie possible seraient de l'ordre de 87%.

Bien que l'objectif principal de cette étude ne soit pas d'estimer l'empreinte carbone d'un email stocké et que le champ d'application au milieu professionnel est restrictif, les auteurs de cette étude développent au cours de celle-ci un modèle libre d'accès et adaptatif nommé CLEER. Le modèle CLEER<sup>1</sup> permet d'estimer les émissions de gaz à effet de serre du cloud à plusieurs niveaux de son cycle de vie à travers des sous-modèles.

On retrouve donc par exemple un sous-modèle pour calculer la consommation électrique des appareils sur lesquelles les emails sont lus (smartphone, ordinateur, etc.), un sous-modèle pour calculer la consommation électrique du transport des données dans le réseau, etc.

Dans cette étude, les auteurs ne déterminent pas la pollution d'un email, mais le modèle open source développé (CLEER) offre une granularité suffisante pour qu'il soit utilisé dans beaucoup de situations. Nous l'utiliserons pour développer notre propre modèle dans le chapitre 3.

---

1. <http://cleermodel.lbl.gov>

### 2.1.1 Conclusion

À la suite de cette revue littéraire, nous avons pris conscience qu'il n'était pas simple de quantifier l'impact environnemental d'un email. Celui-ci dépend de sa taille, du temps de stockage ou encore des différentes étapes du cycle de vie de l'email qui sont prises en compte. À tous ces paramètres s'ajoute la nature confidentielle des données nécessaires pour réaliser les modèles. C'est donc normal que peu d'auteurs se soient essayés à l'exercice.

Bien que nous ne l'ayons pas trouvé, nous avons toujours besoin du coût de stockage d'un email pour mener à bien notre objectif de sensibilisation dans ErasMail. Nous avons donc décidé qu'au-delà de notre contribution logicielle, nous contribuerons également par la création d'un modèle permettant de calculer le coût de stockage d'un email. Ce modèle sera présenté dans le chapitre 3.

## 2.2 Proposer des actions pour agir sur les emails

Dans cette section, nous passerons en revue les différentes solutions existantes à notre second objectif qui est de permettre aux personnes de nettoyer leur boîte email et ainsi réduire leur impact environnemental. Cette analyse nous permettra de mettre en évidence les points forts et faibles de chaque solution existante et ainsi déterminer le meilleur positionnement à adopter avec ErasMail pour qu'il puisse avoir le plus grand impact possible.

### 2.2.1 Cleanfox

Cleanfox (<https://cleanfox.io>) est un outil d'origine française, c'est l'outil le plus connu à ce jour pour nettoyer sa boîte email. Il indique avoir un total de 3 millions d'utilisateurs.

Cleanfox permet la détection, le désabonnement et la suppression des newsletters. La particularité de Cleanfox par rapport à ses concurrents c'est qu'il utilise l'aspect écologique comme principal argument d'acquisition d'utilisateurs. Le site propose notamment différentes statistiques sur le CO<sub>2</sub> sauvé par nos désabonnements/suppression des newsletters.

Le service est gratuit et le modèle économique de Cleanfox est basé sur la vente de données anonymisées de ses clients aux entreprises.

Ses points forts sont sa simplicité d'utilisation et son interface très simpliste.

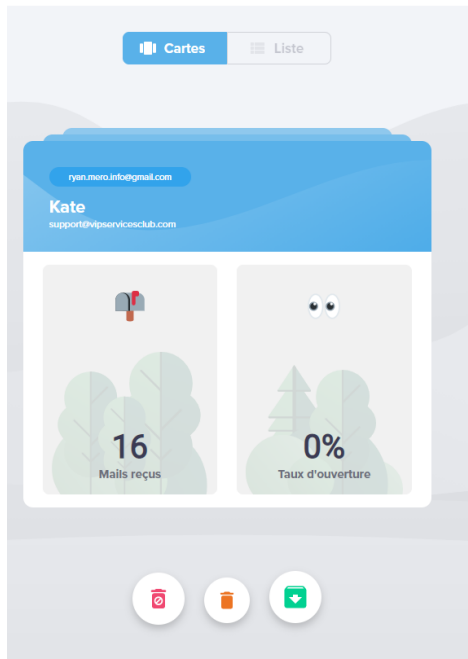


FIGURE 2.1 – Interface de gestion des newsletters. Cleanfox

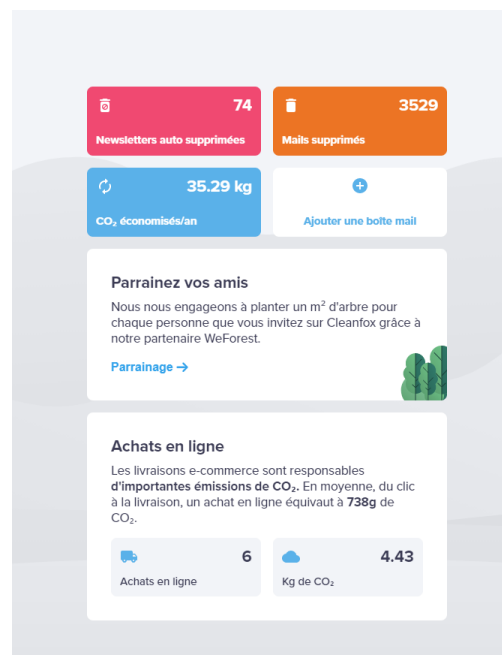


FIGURE 2.2 – Interface de statistiques. Cleanfox

## 2.2.2 Leave Me Alone

À l’instar de Cleanfox, Leave Me Alone (<https://leavemealone.app/>) est un outil permettant la détection, le désabonnement et la suppression des newsletters, ils prétendent sur leur site que Leavemealone est utilisé par près de 30 000 personnes. Toutefois leur argument principal n’est pas écologique, mais purement fonctionnel.

C’est un service payant, leur modèle économique est basé sur l’achat d’un abonnement mensuel ainsi que de crédits. C’est un modèle qu’ils justifient par la non-vente des données d’utilisateurs. Toutefois, ils conservent des données sur leurs utilisateurs sans pour autant les vendre.

Aucune notion à l’écologie n’est faite sur leur outil.

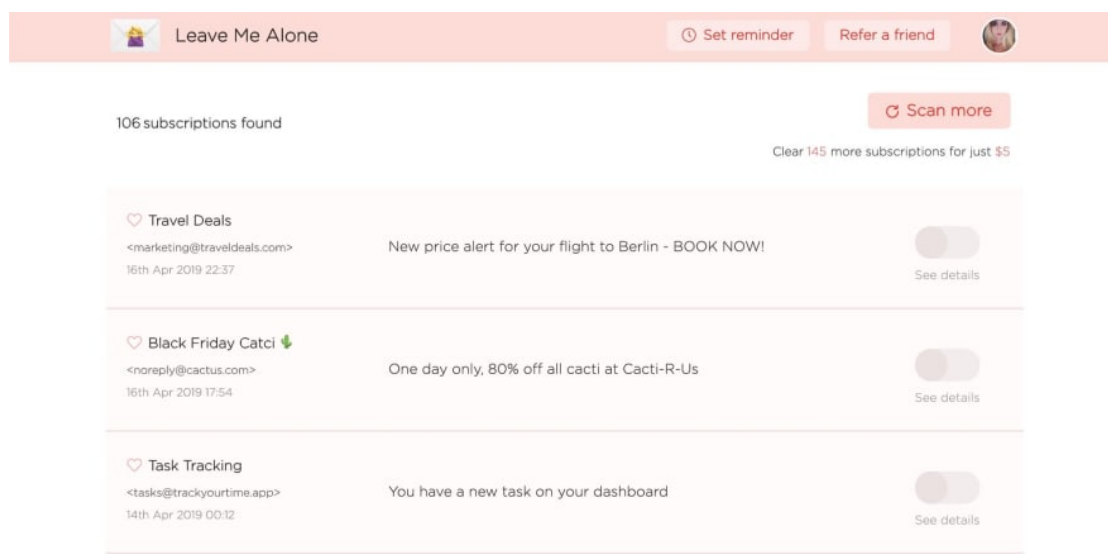


FIGURE 2.3 – Leave Me Alone

### 2.2.3 Clean Email

Clean Email (<https://clean.email/>) est très certainement le meilleur service existant à l'heure actuelle. Il est utilisé par près de 150 000 utilisateurs. Contrairement à la plupart de ses concurrents, ses fonctionnalités ne se limitent pas aux newsletters.

Clean Email propose plus d'une dizaine de filtres avancés tels que :

- Les emails plus vieux qu'une certaine date
- Les emails plus lourds qu'une certaine taille
- Les emails provenant de réseaux sociaux
- ...

Ces filtres permettent d'identifier des emails dits «inutiles» et de les supprimer. En plus de ça, Clean Email propose les fonctionnalités classiques en lien avec les newsletters comme celles des précédents concurrents.

Tout comme Leave Me Alone, le service proposé est payant. Son modèle économique repose sur un abonnement mensuel. Le prix est justifié par la non-vente et la non-conservation de données personnelles.

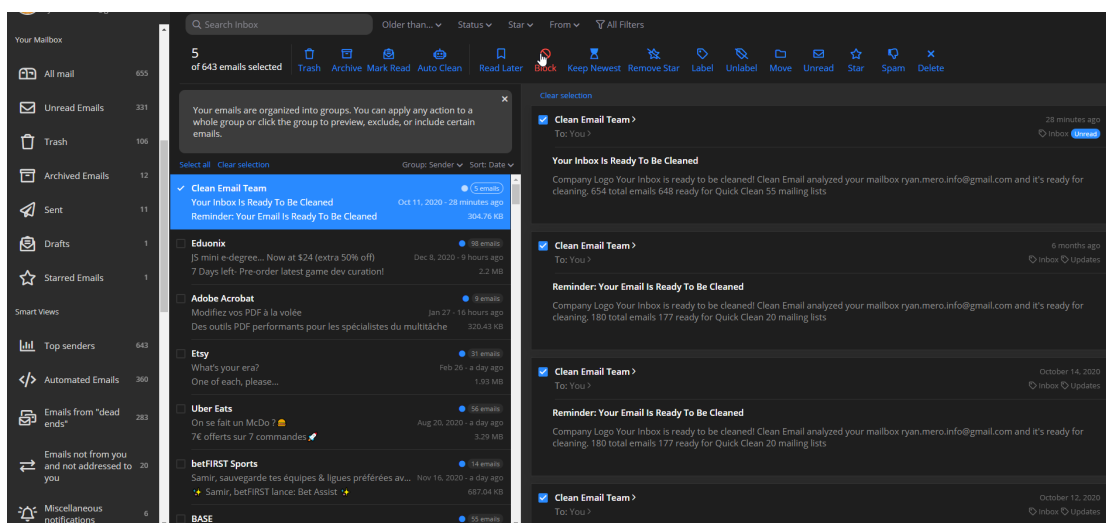


FIGURE 2.4 – Clean Email et ses filtres sur le côté gauche

## 2.2.4 Autres

Il existe d'autres services qui ne se démarquent pas particulièrement. Les plus connus à ce jour sont :

- **InstaClean** : outil gratuit offrant le même service que Cleanfox, avec le même but écologique et vendant également les données de ses utilisateurs.
- **Mailstrom** : outil payant offrant un service semblable à celui de Clean Email avec une interface ainsi que des filtres très simplistes (Social, Shopping, ...).
- **Unroll.me** : outil gratuit offrant le même service que Cleanfox sans l'aspect écologique et non disponible en Europe.

## 2.2.5 Conclusion

Nom	Fonctionnalités	Argument principal	Prix	Respect de la vie privée	Interface
Cleanfox	Newsletters	Écologique	Gratuit	Vente de données	User-friendly
LeaveMeAlone	Newsletters	Fonctionnel	Payant	Conservation de données	Minimaliste
Clean.Email	Newsletters et filtres avancés	Fonctionnel	Payant	Vie privée respectée	Compliquée

Cette analyse des solutions existantes nous a permis d'analyser les points forts et les points faibles de chacun des outils présentés ci-dessus. Grâce à cette revue des outils, nous avons pu mettre en évidence les caractéristiques **que nous ne voulons pas** avoir dans ErasMail :

- Une interface compliquée
- Un système payant
- Le non-respect de la vie privée des utilisateurs
- Des fonctionnalités limitées aux newsletters
- La non mise en avant de l'aspect écologique

Ainsi que les caractéristiques **que nous voulons** avoir dans ErasMail :

- Une interface user-friendly
- Un outil open source d'utilité publique
- La non-conservation de données et le respect total de la vie privée
- Des fonctionnalités agissant au-delà des newsletters
- L'omniprésence de l'aspect écologique à tous les niveaux

## 2.3 Inciter à l'utilisation d'ErasMail

Ces dernières années, les jeux vidéo en ligne sont devenus extrêmement populaires en raison de leur aspect ludique et de leur interactivité. Les entreprises réalisent le potentiel de l'application de ce paradigme dans d'autres contextes tels que le travail et l'apprentissage, ce qui a conduit à l'émergence du concept de gamification [14]. Ce concept consiste à utiliser des éléments et des techniques de jeu dans des contextes autres que le jeu [6]. Une autre définition, proposée par K. Huotari et J. Hamari [12], serait : « un processus d'amélioration des services avec des affordances afin de susciter une expérience ludique et de stimuler les changements de comportement ». En effet, la gamification peut transformer les utilisateurs en supporteurs et le travail en divertissement [4]. De plus, elle est susceptible d'avoir un impact positif sur les performances, la productivité et l'engagement des utilisateurs.

L'un des objectifs de la gamification est de motiver les utilisateurs à avoir le comportement que nous avons décidé en amont. Les théories de la motivation [8], qui tentent d'expliquer les facteurs du comportement des individus, ont distingué deux grands types de motivations : intrinsèques et extrinsèques. Si une personne est amenée à exercer une activité en raison de la satisfaction que cette activité lui procure, alors nous parlons de motivation intrinsèque. Elle est basée sur le plaisir procuré par l'activité plutôt que sur une récompense externe. En revanche, la motivation extrinsèque se manifeste lorsque l'activité est effectuée pour acquérir un résultat externe.

Dans cette section nous passerons en revue certaines des meilleures techniques de gamification. Cette analyse nous permettra de mettre en évidence les aspects qu'ErasMail devra adopter pour inciter son utilisation et ainsi remplir notre troisième objectif.

### 2.3.1 Le classement entre utilisateurs

L'utilisation de points et de classements sont deux des types de gamification les plus couramment utilisés. Cependant, dans la littérature scientifique, peu d'études ont été menées sur l'impact précis d'un classement sur les utilisateurs. En effet, dans la plupart des études, les classements sont accompagnés d'autres techniques de gamification qui peuvent modifier les résultats finaux.

Richard Landers, Kristina Bauer et Rachel Callan [15] ont analysé l'impact d'un classement comme technique de gamification. Ils ont constaté que la présence d'un classement motive les participants à accroître leurs performances. Dans cette étude, ils montrent que la théorie du positionnement d'objectif, l'une des théories de la motivation les plus réputées en psychologie, peut être utilisée pour expliquer les effets d'un classement. Cette théorie montre que les personnes sont plus motivées lorsque les objectifs sont clairement fixés à l'avance. Les objectifs donnent aux utilisateurs une mesure de la performance optimale par rapport à laquelle ils peuvent juger leur propre performance. Ensuite, les utilisateurs peuvent modifier leur comportement afin d'atténuer cet écart. Dans le contexte d'un classement, l'objectif est défini directement par l'utilisateur (ex. être le premier parmi tous les belges, avoir une position plus élevée qu'une autre personne).

Un autre point important à prendre en compte est l'engagement envers les objectifs. En effet, les utilisateurs ayant peu d'engagement auront tendance à rejeter leurs objectifs et le remplacer par d'autres plus faciles. Alors que les utilisateurs ayant un engagement élevé augmenteront leurs performances pour réaliser leurs objectifs. Richard Landers, Kristina Bauer et Rachel Callan [15] montrent que l'utilisation du classement provoque chez certains utilisateurs une forte volonté d'atteindre la première place du classement, tandis que d'autres s'engageront à atteindre des objectifs plus simples (ex. ne pas être dernier dans le classement).

Notez que lorsqu'un objectif est atteint, dans ce contexte, ce n'est pas immuable. En effet, une autre personne peut battre notre score et nous empêcher de réaliser notre objectif (ex. être le premier dans le classement). Dans ce cas, un esprit de compétition naît et favorise l'engagement vers l'objectif en question.

Pour illustrer cette technique de gamification, prenons l'exemple d'un site web célèbre. Codingame ([www.codingame.com](http://www.codingame.com)) est un site dédié à la programmation informatique. Il se distingue de ses concurrents par son aspect ludique. Ce site propose des exercices de programmation à résoudre dans plus de 20 langages de programmation<sup>2</sup>. Parmi tous les systèmes de gamification qu'il implémente, nous pouvons trouver un classement entre les utilisateurs (figure 2.5).

---

2. <https://fr.wikipedia.org/wiki/CodinGame>

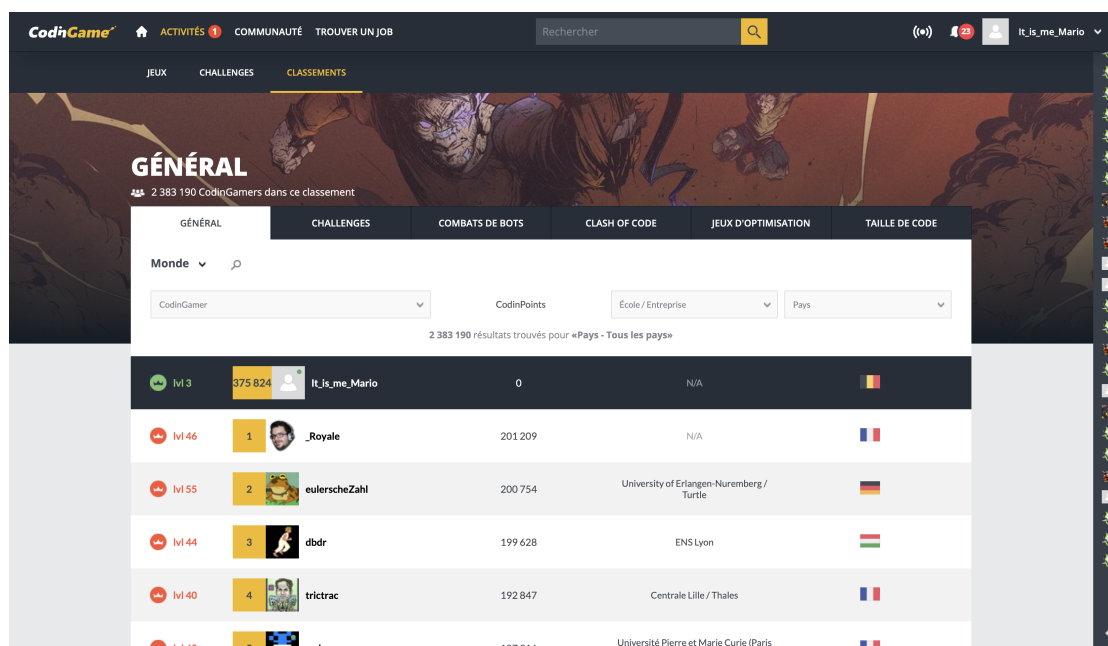


FIGURE 2.5 – Classement entre les utilisateurs de Codingame ([www.codingame.com](http://www.codingame.com)).

## 2.3.2 Les badges

Contrairement aux classements, les badges nous permettent de fixer des objectifs immuables. Les badges sont des récompenses obtenues lorsqu'une personne a réalisé une action ou une tâche spécifique. L'obtention de badges est facultative et ne limite aucunement l'utilisation du logiciel gamifié. Selon Albert Bandura [1], les objectifs, définis en amont, permettent d'augmenter la performance des utilisateurs grâce aux facteurs suivants :

- Les utilisateurs fixent leurs attentes plus haut qu'initialement
- Les badges obtenus augmentent le sentiment d'auto-efficacité
- La réussite des objectifs entraîne une plus grande satisfaction

En plus des objectifs définis par les badges, un autre objectif réside dans le comportement de collecte des badges. En effet, obtenir tous les badges peut également être considéré comme un objectif additionnel que les badges offrent. Ceux-ci permettent également de guider l'utilisateur dans le logiciel. Il a une idée claire de la manière d'utiliser le logiciel et de ce que l'on attend de lui par le biais des objectifs à accomplir.

L'étude *Do badges increase user activity?* [10] nous montre que les utilisateurs sont plus susceptibles d'utiliser activement un logiciel si celui-ci implémente un système de badges. Bien que les badges ajoutent implicitement une structure et un objectif à l'expérience de l'utilisateur, ils sont aussi susceptibles de favoriser la

nature expérimentale de l'utilisation du logiciel. Ils peuvent inciter les utilisateurs à essayer différentes facettes du logiciel dans un esprit exploratoire.

Pour illustrer cette technique de gamification, nous pouvons reprendre notre exemple précédent (Codingame). Comme montré sur la figure 2.6, le site met en œuvre également un système de badges incitant ses utilisateurs à revenir fréquemment pour relever de nouveaux défis.

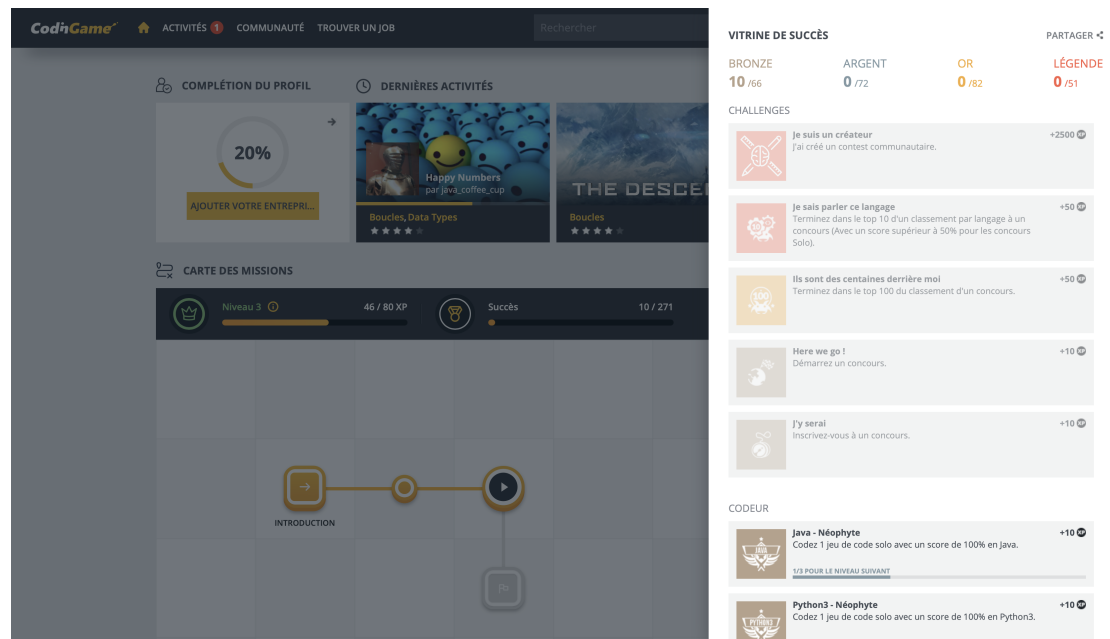


FIGURE 2.6 – Système de badge de Codingame ([www.codingame.com](http://www.codingame.com)).

### 2.3.3 Les facteurs sociaux

Un autre argument en faveur de la gamification est le pouvoir de persuasion qui naît lorsque les utilisateurs se comparent les uns aux autres. De façon générale, ce phénomène s'appelle la comparaison sociale [9]. Les aspects sociaux sont essentiels à la gamification : les utilisateurs collectent des badges et montent dans les classements pour des raisons sociales (ex. la reconnaissance de ses pairs).

Une étude menée par J. Hamari et J. Koivisto [11] montre comment les utilisateurs sont incités à utiliser un logiciel qui implémente une ou plusieurs techniques de gamification. En outre, ces utilisateurs auront tendance à recommander ce logiciel à d'autres personnes par le biais des facteurs sociaux suivants :

- L'influence sociale
- La reconnaissance sociale
- Les bénéfices réciproques

- L'effet de réseau
- L'attitude et les intentions

L'impact de ces facteurs sociaux est corrélé positivement avec l'exposition des utilisateurs aux autres utilisateurs du logiciel. Par conséquent, l'aspect social est important à prendre en compte lors de l'élaboration de la gamification.

### 2.3.4 Conclusion

Après cette analyse de la littérature psychologique, nous pouvons identifier les techniques de gamification que nous implémenterons dans ErasMail :

- Un classement des utilisateurs
- Des badges évolutifs
- Des succès à débloquer
- Le partage sur les réseaux sociaux

La particularité d'ErasMail est qu'il implémente deux systèmes de badges indépendants. Le premier, appelé « badges évolutifs », permet de récompenser les utilisateurs les plus fidèles. Ceux-ci verront leur badge évoluer au fur et à mesure de leur utilisation d'ErasMail. Le second, appelé « succès à débloquer », est tout simplement identique à celui décrit dans la section 2.3.2. Elle permettra, notamment, de guider les utilisateurs à travers ErasMail.

Afin d'amplifier la visibilité d'ErasMail et de favoriser les facteurs sociaux décrits dans la section 2.3.3, ErasMail permettra de partager sur les réseaux sociaux les événements liés aux utilisateurs (ex. l'obtention d'un succès).

# Chapitre 3

## Vers un modèle de l'impact écologique du stockage des emails

Dans le chapitre 2 nous avons exprimé notre besoin de connaître le coût de stockage d'un email ainsi que le coût écologique total d'un email pour pouvoir sensibiliser les utilisateurs avec notre solution. Le coût écologique du stockage des emails est important parce que c'est généralement le seul élément sur lequel notre logiciel peut agir. La figure 3.1 est explicite, un email traverse plusieurs étapes allant de l'envoi à la réception. En supprimant des emails inutiles, ErasMail n'agit que sur l'étape où l'email est stocké sur le serveur, nous n'avons pas la prétention de dire que notre solution agit au-delà de cette étape. Le coût total a été trouvé par l'ADEME [19]. Cependant, le coût lié au stockage des emails reste indéterminé pour le moment. C'est pour cette raison que nous avons décidé de construire notre propre modèle mathématique permettant d'approximer ce second coût.

Quantifier l'impact environnemental des emails n'est pas une tâche facile. En cherchant des données pour réaliser ce modèle nous nous sommes rapidement rendu compte que les données publiques disponibles étaient très limitées en nombre. Très souvent, ces données étaient :

- Confidentielles et manquantes
- Très anciennes
- Résultantes d'un modèle reposant sur des hypothèses simplificatrices

Par conséquent, la quantification que nous faisons dans ce chapitre a uniquement une portée illustrative, l'objectif n'est pas de prétendre à des valeurs parfaitement exactes, mais de proposer des ordres de grandeur pertinents et pouvant être vérifiés. Ces ordres de grandeur permettent de donner une représentation tangible à des comportements perçus comme « fictifs et sans coûts ».

## 3.1 Les sources de pollution

Avant d'entamer les calculs, il est indispensable de mettre en évidence les différentes sources de pollution liées aux emails. Parmi ces sources, nous déterminerons ensuite lesquelles sont pertinentes pour notre modèle.

### 3.1.1 Le trajet des emails.

Comme la figure 3.1<sup>1</sup> l'indique, un email a un long trajet à parcourir entre l'écriture de l'email et la lecture par le destinataire<sup>2</sup>. Pour mieux comprendre ce trajet, prenons un exemple concret : Tout d'abord Jean écrira un email sur son ordinateur à Pierre. L'email sera transféré vers un serveur appartenant au fournisseur de Jean grâce au protocole SMTP<sup>3</sup>. Ce même protocole sera utilisé pour transférer l'email entre le fournisseur de Jean et celui de Pierre. Durant ce transfert, l'email pourra passer par de nombreux serveurs intermédiaires. Lorsque l'email sera arrivé à destination, ce-dernier pourra être accessible à Pierre grâce aux protocoles POP<sup>4</sup> ou IMAP<sup>5</sup>, il pourra lire l'email sur sa tablette ou son ordinateur par exemple<sup>6</sup>.

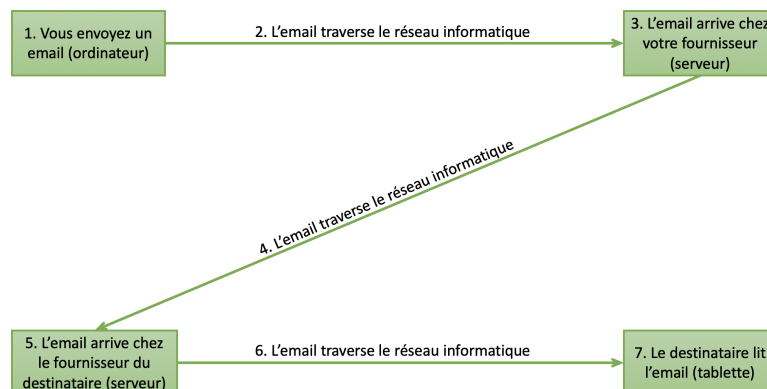


FIGURE 3.1 – Les étapes lors de l'envoi d'un email vers un seul destinataire.

1. La figure 1.5 du chapitre 1 a été dupliquée afin de faciliter la lecture.
2. Pour rappel, il s'agit ici d'un scénario simple où l'utilisateur envoi un email à un seul destinataire appartenant à un autre fournisseur, d'autres scénarios sont possible.
3. C'est un protocole de communication utilisé pour transférer un email vers les serveurs de messagerie électronique. (Wikipedia)
4. C'est un protocole qui permet de récupérer les courriers électroniques situés sur un serveur de messagerie électronique. (Wikipedia)
5. C'est un protocole qui permet d'accéder à ses emails directement sur les serveurs de messagerie. (Wikipedia)
6. <https://www.hostinger.com/tutorials/email/pop3-imap-smtp-protocols-explained-ports>

Chaque étape nécessite une consommation d'énergie plus ou moins importante. Ces étapes peuvent être rassemblées en 3 groupes comme décrits ci-dessous :

- **Le support :**

Ce groupe réunit les étapes 1 et 7 de la figure 3.1.

La première consommation énergétique évidente provient du support de lecture et d'écriture. L'impact écologique dépend de l'appareil utilisé, écrire/lire un email sur une tablette ou sur un ordinateur n'a pas le même besoin énergétique.

- **Le fournisseur :**

Ce groupe réunit les étapes 3 et 5 de la figure 3.1.

Les deux fournisseurs (celui de l'expéditeur et celui du destinataire) seront sollicités afin de traiter et de stocker l'email. Aujourd'hui, les utilisateurs ont pris l'habitude d'accéder à leurs anciens emails en un clic. Cet accès instantané requiert que les emails soient disponibles à tout moment. Il est donc impossible pour les fournisseurs d'archiver les emails anciens ou inutiles dans le but de réduire la consommation d'énergie. Chaque fournisseur est susceptible de stocker plusieurs copies d'un email dans ses centres de données. Cette redondance permet aux fournisseur d'être tolérant aux erreurs en cas de défaillance matérielle [5]. Une technique commune de redondance est la géo-réplication, elle consiste à stocker les mêmes données sur des serveurs répartis dans plusieurs localisations géographiquement éloignés, elle permet d'assurer une sécurité même en cas de défaillance d'un centre de données complet<sup>7</sup>.

- **Le réseau informatique :**

Ce groupe réunit les étapes 2, 4 et 6 de la figure 3.1.

Tout trajet dans le réseau informatique requiert également de l'énergie. Parmi toutes les composantes du réseau informatique, nous pouvons retrouver les routeurs, les commutateurs et les canaux de transmission filaire. Naturellement, le besoin énergétique varie en fonction de la complexité du réseau et des dispositions géographiques (distance, communication intercontinentales, ...) .

### 3.1.2 Périmètre

Compte tenu de la nature du coût que nous recherchons, nous avons retenu une définition du périmètre assez restreinte et cohérente avec celui-ci.

Le périmètre que nous avons retenu pour le calcul de **l'empreinte carbone liée au stockage d'un email** est celui du groupe « fournisseur » cité précédemment.

---

7. <https://searchwindowserver.techtarget.com/definition/geo-replication>

Plus concrètement, il constitue les points suivant :

- La consommation électrique des centres de données
- Le système de redondance des données

Ce que nous appelons « centres de données » comprend les serveurs et tout autre équipement non informatique secondaire (refroidissement, onduleurs, ...) nécessaire au fonctionnement de ceux-ci.

Ce périmètre exclut donc les autres coûts qui pourraient être associés aux emails tels que la consommation des supports sur lesquelles les emails sont lus. Nous n'avons également pas pris en considération l'impact environnemental des serveurs en fin de vie, qui peuvent notamment être recyclée.

## 3.2 Calcul

L'objectif du modèle que nous allons définir dans les prochaines lignes est de quantifier l'impact énergétique de 1 Mo de données stocké pendant une année dans le contexte des emails. Cette quantification nous servira ensuite comme base pour calculer l'empreinte carbone du stockage pendant une année d'un email d'une certaine taille.

Afin de modéliser l'impact écologique d'un email d'un méga-octet, examinons les paramètres qui interviennent dans le périmètre précédemment défini :

- **Nombre de serveurs ( $N_S$ ) :**

Le premier facteur qui peut influencer la consommation énergétique d'un centre de données est le nombre de serveurs. À eux seuls, les serveurs représentent 50% des besoins énergétiques d'un centre de données [2]. Selon les experts de Google [7], dans le contexte des grandes multinationales du cloud et plus particulièrement des emails, un serveur est utilisé pour en moyenne 2.000 utilisateurs. Dans le chapitre 1, nous avons vu qu'il y a actuellement 4,04 milliards d'utilisateurs de services emails. Cela implique donc qu'il faudrait environ 2,02 millions<sup>8</sup> de serveurs pour l'ensemble des utilisateurs.

*Il est important de noter que tous les utilisateurs ne se trouvent pas chez des géants du cloud et que donc la valeur de 2.000 utilisateurs par serveur varie énormément dans la réalité. Nous prenons cette valeur uniquement pour illustrer notre borne supérieure (où tous les utilisateurs sont clients de grands entreprises) et inférieure (où tous les utilisateurs sont clients de Gmail). Dans ces deux cas, 2.000 utilisateurs par serveur est une valeur réaliste.*

---

8. Ce nombre prend déjà en compte la redondance des serveurs.

- **La capacité de stockage par serveur ( $S_s$ ) :**

C'est le deuxième facteur dans la consommation d'énergie électrique d'un centre de données (27%) [2]. Pour des raisons spatiales, actuellement, les serveurs des grands centres de données peuvent accueillir au maximum 9 disques durs (HDD) [16]. En 2020, la taille moyenne des disques durs dans les centres de données est de 10 TB par disque [18]. Au total nous avons 90 TB par serveur.

- **Le niveau d'utilisation des disques durs ( $u$ ) :**

Dans les centres de données, un disque dur n'est jamais utilisé à 100% de sa capacité pour des raisons de performance. En moyenne, le taux d'utilisation dépasse rarement les 40%<sup>9</sup> [2] [17]. Ce taux faible implique non seulement un gaspillage d'espace de stockage, mais également un gaspillage énergétique.

- **La stratégie de redondance ( $r(N)$ ) :**

Bien que les centres de données sont maintenus par des experts, ils ne sont pas à l'abri de défaillances informatiques. Pour se protéger contre ces problèmes, les fournisseurs cloud prévoient davantage d'équipements (serveurs, onduleurs, systèmes de refroidissement, ...) que nécessaire. Le nombre d'équipements à prévoir est calculé sur la base d'une stratégie de redondance. En général, celle-ci est définie par une fonction  $r(N)$  où  $N$  est le nombre d'équipements minimal requis.

La stratégie à adopter dépend de la taille et des besoins de l'entité. Les stratégies varient en passant de  $r(N) = N + 1$  (le niveau le plus faible) à  $r(N) = 2N + 1$  (le niveau le plus élevé)<sup>10 11</sup>. La redondance signifie plus de fiabilité, mais aussi plus de consommation d'énergie. D'après Google [13] et le rapport *United states data center energy usage* [16], les centres de données aussi grands que ceux que nous considérons adoptent une redondance de  $r(N) = N + N \cdot 0,2$ . Nous choisissons donc cette stratégie pour notre modèle mathématique.

- **La consommation d'énergie électrique annuelle par serveur ( $W_s$ ) :**

Cette valeur permet de quantifier l'énergie électrique dont un serveur aura besoin au cours d'une année pour son bon fonctionnement. Les services cloud peuvent personnaliser leurs serveurs en utilisant des composants optimisés à leurs besoins. Ceci permet de réduire la facture de consommation électrique annuelle des centres de données.

- **Le PUE :**

C'est le ratio entre l'énergie totale consommée par le centre de données (serveurs ainsi que systèmes auxiliaires tels que refroidissement ou la distribu-

---

9. <https://www.computerworld.com/article/2518591/survey-finds-storage-systems-underutilized-as-companies-add-more-capacity.html>

10. <https://www.vxchnge.com/blog/n1-data-center-infrastructure-redundancy>

11. <https://phoenixnap.com/blog/data-center-tiers-classification>

tion de courant) et l'énergie totale consommée par le système informatique (uniquement les serveurs).

$$\text{PUE} = \frac{\text{Énergie totale consommée par le data center}}{\text{Énergie totale consommée par les équipements informatique}}$$

Par exemple, un PUE égal à 2 signifie que pour chaque watt consommé par l'équipement informatique, un watt supplémentaire est nécessaire pour les systèmes auxiliaires tel que le refroidissement. Par contre, un PUE égal à 1 veut dire toute l'électricité consommée par le centre de donnée est utilisée pour les serveurs.

- **Le coefficient de conversion pour l'équivalent en carbone ( $\alpha$ ) :**  
Ce paramètre permet de déterminer l'équivalent en carbone sur base de la consommation électrique. Cette valeur dépend surtout de la source de production de l'électricité : celle produite par le nucléaire aura un coefficient plus faible que celle produite par le charbon ou encore le gaz.  
Pour nos calculs, nous prendrons le cas des États-Unis qui ont un coefficient de 0,68 kg CO<sub>2</sub> / kWh [16].

### 3.2.1 Modélisation mathématique du coût écologique de stockage d'un email

Les paramètres décrits, nous pouvons enfin calculer la pollution d'un email de 1 Mo stocké pendant une année. Pour ce faire, nous procéderons en deux temps. D'abord, nous définirons la pollution totale générée par tous les emails sur une période d'une année ( $P_{\text{tot}}$ ). Ensuite, nous déterminerons la part de responsabilité d'un email d'un méga-octet sur la facture totale avec un coefficient ( $\beta$ ).

$$P_{\text{tot}} = \alpha \cdot \text{PUE} \cdot r(N_s) \cdot W_s$$

$$\beta = \frac{r(1)}{r(N_s) \cdot S_s \cdot u}$$

$r(1)$  est la taille d'un email de 1 Mo en incluant la redondance de celui-ci

Il ne reste plus qu'à multiplier ces valeurs pour obtenir la pollution d'un email de 1 Mo sur une durée d'une année ( $P_{\text{mb}}$ ) :

$$P_{\text{mb}} = P_{\text{tot}} \cdot \beta$$

Dans les sous-sections suivantes, nous déterminerons la pollution engendrée par un email d'un méga-octet sur une période d'une année sur base de la formule expliquée ci-dessus. En raison des incertitudes qui existent dans ce type de calculs (confidentialité des données, hypothèses faites, différentes situations), les résultats seront présentés à travers une borne inférieure et une borne supérieure.

### 3.2.2 Borne inférieure

La borne inférieure que nous considérons est la situation où tous les utilisateurs utilisent Gmail. Selon Google [13], les centres de données Gmail, sont 3 fois moins polluants que les infrastructures acquises et opérées par les entreprises elle même pour les raisons suivantes :

- Des serveurs personnalisés et optimisés pour le cloud qui utilisent uniquement les composants nécessaires à leur fonctionnement.
- Des alimentations où la perte de chaleur est inférieure à 10%.
- Des logiciels spécialement créés pour le service.
- Un système de refroidissement performant.

#### Spécification des paramètres

Parmi les paramètres non définis de la section 3.2, nous devons spécifier le paramètre suivant :

- **Le niveau d'utilisation des disques durs (u) :**  
Comme explique précédemment, cette valeur ne dépasse que rarement les 40%. Étant donné que  $P_{mb}$  est inversement proportionnelle au niveau d'utilisation des disques durs, nous choisissons donc cette valeur pour notre borne inférieure.

#### $P_{tot}$

D'après Google [13], les serveurs dédiés à Gmail ont une consommation électrique annuelle de 2,2 kWh par utilisateur. Pour rappel, nous avons vu qu'il y a actuellement 4,04 milliards d'utilisateurs de services emails (figure 1.4). Grâce à ces valeurs, nous pouvons calculer  $P_{tot}$ <sup>12</sup> de la façon suivante :

$$P_{tot} = \alpha \cdot 2,2 \text{ [kWh]} \cdot 4,04 \cdot 10^9 = 6,04 \cdot 10^{12} \text{ [g CO}_2\text{]}$$

---

12.  $\alpha = 0,68 \text{ [kg CO}_2 \text{ / kWh]}$

## Beta

Étant donné que la redondance<sup>13</sup>, le nombre de serveur<sup>14</sup> et la capacité de stockage<sup>15</sup> par serveur étaient déjà fixé dans la section 3.2, nous pouvons calculer  $\beta$  en insérant le niveau d'utilisation des disques durs<sup>16</sup> dédié à la borne inférieure de la manière suivante :

$$\beta = \frac{1 \text{ [Mo]} + 0,2 \cdot 1 \text{ [Mo]}}{2,02 \cdot 10^6 \cdot 90 \text{ [TB]} \cdot 0,4} = 1,65 \cdot 10^{-14}$$

## $P_{mb}$

À présent, nous sommes en mesure de calculer une borne supérieure pour la pollution engendrée par le stockage d'un email d'un méga-octet sur une période d'un an :

$$P_{mb} = 6,04 \cdot 10^{12} \text{ [g CO}_2\text{]} \cdot 1,65 \cdot 10^{-14} = 0,1 \text{ [g CO}_2\text{]}$$

En faisant l'hypothèse que tous les utilisateurs de services emails soient des clients de Gmail, nous avons pu déduire qu'un email de 1 Mo stocké durant une année à un impact environnemental équivalant à 0,1 g CO<sub>2</sub>.

### 3.2.3 Borne supérieure

En ce qui concerne la borne supérieure, nous avons choisi de nous appuyer partiellement sur le modèle CLEER<sup>17</sup> décrit dans à la section 2.1 du chapitre 2. Pour rappel, ce modèle est le fruit de la collaboration entre Google, l'université de Northwestern et le Laboratoire national Lawrence-Berkeley [16]. Il permet d'estimer les émissions de gaz à effet de serre du cloud à plusieurs niveaux de son cycle de vie. Notre choix s'est fait sur base des raisons suivantes :

- C'est un modèle libre d'accès, les données et les calculs employés sont accessibles.
- Le périmètre du modèle peut être réduit ou augmenté à travers l'utilisation des sous-modèles. Par exemple, bien que CLEER permette de calculer la consommation électrique des terminaux sur lesquelles les emails sont lus, nous pouvons omettre le sous-modèle associé à ces terminaux pour restreindre le périmètre de nos calculs.

---

13.  $r(N) = N + 0,2 \cdot N$

14.  $N_s = 2,02 \cdot 10^6$  [serveurs]

15.  $S_s = 90$  [TB]

16.  $u = 40\%$

17. <http://cleermodel.lbl.gov/>

- Le modèle offre une granularité suffisante pour pouvoir être adaptée à différentes tailles d'emails et de population.

## Spécification des paramètres

Parmi les paramètres non-définis de la section 3.2, nous devons spécifier les paramètres suivants :

- **Le niveau d'utilisation des disques durs ( $u$ ) :**  
Une enquête<sup>18</sup> faite auprès de 1 165 responsables informatiques a révélé que l'entreprise moyenne utilise 28% de leur capacité de stockage. Cette enquête vise le stockage sur le cloud public et privé. Le rapport *Reducing data center power consumption through efficient storage* [2] arrondi même cette valeur à 30% pour indiquer le niveau minimal d'utilisation des disques durs dans les centres de données. Nous prendrons cette dernière valeur pour notre borne supérieure car  $P_{mb}$  est inversement proportionnelle au niveau d'utilisation des disques durs.
- **La consommation d'énergie électrique annuelle par serveur ( $W_s$ ) :**  
En ce qui concerne la consommation électrique des serveurs, nous nous basons sur celle communiquée par Google [13] qui est de 450W.
- **Le PUE :**  
En fonction des différentes ressources de la littérature consultées, le PUE varie énormément pour les centres de données. Toutefois, pour les centres de données tels que ceux considérés dans nos calculs, celui-ci ne varie généralement qu'entre 1,5 et 1,8. Nous prenons la valeur de 1,6 qui est celle proposée par Google [13] pour les grands centres de données.

## $P_{tot}$

Une fois les données en main nous pouvons les insérer dans le modèle CLEER et nous obtenons un total de  $13 \cdot 10^6$  kg de  $CO_2$  généré pour l'ensemble de ces serveurs ( $P_{tot}$ ).

---

18. <https://www.computerworld.com/article/2518591/survey-finds-storage-systems-underutilized-as-companies-add-more-capacity.html>

## Beta

Étant donné que la redondance<sup>19</sup>, le nombre de serveur<sup>20</sup> et la capacité de stockage<sup>21</sup> par serveur étaient déjà fixé dans la section 3.2, nous pouvons calculer  $\beta$  en insérant le niveau d'utilisation des disques durs<sup>22</sup> dédié à la borne inférieure de la manière suivante :

$$\beta = \frac{1 \text{ [Mo]} + 0,2 \cdot 1 \text{ [Mo]}}{2,02 \cdot 10^6 \cdot 90 \text{ [TB]} \cdot 0,3} = 2,2 \cdot 10^{-14}$$

## $P_{mb}$

Grâce à ces deux valeurs, nous sommes en mesure de calculer une borne supérieure pour la pollution engendrée par le stockage d'un email d'un méga-octet sur une période d'un an :

$$P_{mb} = 13 \cdot 10^{12} \text{ [g CO}_2\text{]} \cdot 2,2 \cdot 10^{-14} = 0.29 \text{ [g CO}_2\text{]}$$

En utilisant le modèle CLEER - un modèle qui permet d'approximer l'empreinte carbone du cloud à plusieurs niveaux de son cycle de vie - nous avons pu déduire qu'un email de 1 Mo stocké durant une année à un impact environnemental équivalant à 0,29 g CO<sub>2</sub>.

### 3.2.4 Conclusion

Nous avons déterminé qu'un email d'un méga-octet stocké sur une durée d'un an a une empreinte carbone entre 0,1 et 0,29 g de CO<sub>2</sub>. Notez que la borne supérieure est presque 3 fois plus grande que la borne inférieure, comme le prédit Google [13].

Nos valeurs obtenues sont en dessous de la prédiction de l'ADEME (19 g CO<sub>2</sub>) [19]. Un tel écart est correct et était attendu, il est principalement dû au périmètre restrictif que nous avons choisi. Effectivement, Nous prenons en compte uniquement le stockage chez les fournisseurs dans le cycle de vie de l'email. (figure 3.1)

---

19.  $r(N) = N + 0,2 \cdot N$

20.  $N_s = 2,02 \cdot 10^6$  [serveurs]

21.  $S_s = 90$  [TB]

22.  $u = 30\%$

# Chapitre 4

## ErasMail

Dans ce chapitre, le logiciel que nous avons créé au cours des derniers mois est enfin présenté.

ErasMail est une application web (figure 4.2 et 4.3) accessible via internet (<https://tfe-imap.info.ucl.ac.be/>) ou localement (après installation sur <https://github.com/SamirM-BE/ErasMail>) se connectant aux boîtes email des utilisateurs pour les analyser et mettre en évidence les emails les plus polluants. Elle se présente sous la forme de 5 modules regroupant plusieurs fonctionnalités. Ces 5 modules sont les suivants :

- **Connexion** : regroupe toutes les fonctionnalités en lien avec la connexion de l'utilisateur sur l'application
- **Fils de discussions** : regroupe les fonctionnalités permettant d'agir sur les fils de discussion des utilisateurs
- **Newsletters** : regroupe les fonctionnalités permettant d'agir sur les newsletters des utilisateurs
- **Emails** : regroupe les fonctionnalités permettant d'agir sur les emails de façon générale, à travers des filtres
- **Profil** : regroupe tous les aspects sociaux de l'application

À la section suivante, nous vous montrerons à travers une image décrivant le flux d'utilisation du logiciel ErasMail par un utilisateur comment nous réalisons notre triple objectif.

Ensuite, nous vous détaillerons les fonctionnalités mises en œuvre par ErasMail et verrons comment celles-ci répondent de façon holistique à notre problématique en rendant à la fois visible le coût invisible des emails, en permettant d'agir pour réduire ce coût et en rendant l'expérience utilisateur la plus agréable possible afin

que l'utilisateur soit incité à utiliser ErasMail un maximum de fois.

Dans un dernier temps, nous aborderons les concepts clés intégrés au sein d'ErasMail tels que la gamification.

## 4.1 Flux d'utilisation du logiciel ErasMail

La figure 4.1 représente le flux d'utilisation de l'application web par un utilisateur, ce cycle incarne notre triple objectif qui peut être résumé par « inciter, sensibiliser et permettre d'agir ».

D'abord, un utilisateur qui entendra parler de notre logiciel grâce à une publication de l'un de ses amis sur les réseaux sociaux (inciter). Ensuite, par curiosité, il visitera le site hébergeant l'application web. À ce moment-là, il prendra conscience que les emails polluent et il pourra mesurer l'impact environnemental de sa boîte email en se connectant (sensibiliser). Ayant pris conscience de cet impact, ErasMail lui proposera plusieurs actions afin de diminuer son impact environnemental (agir). Au fur et à mesure des emails ou des pièces jointes supprimées, il gagnera des badges qu'il pourra, par la suite, partager sur ses réseaux sociaux (inciter). À son tour, l'un de ses amis recommencera ce cycle.

C'est de cette façon-là qu'ErasMail contribuera au maximum à la réduction de la pollution générée par les emails.

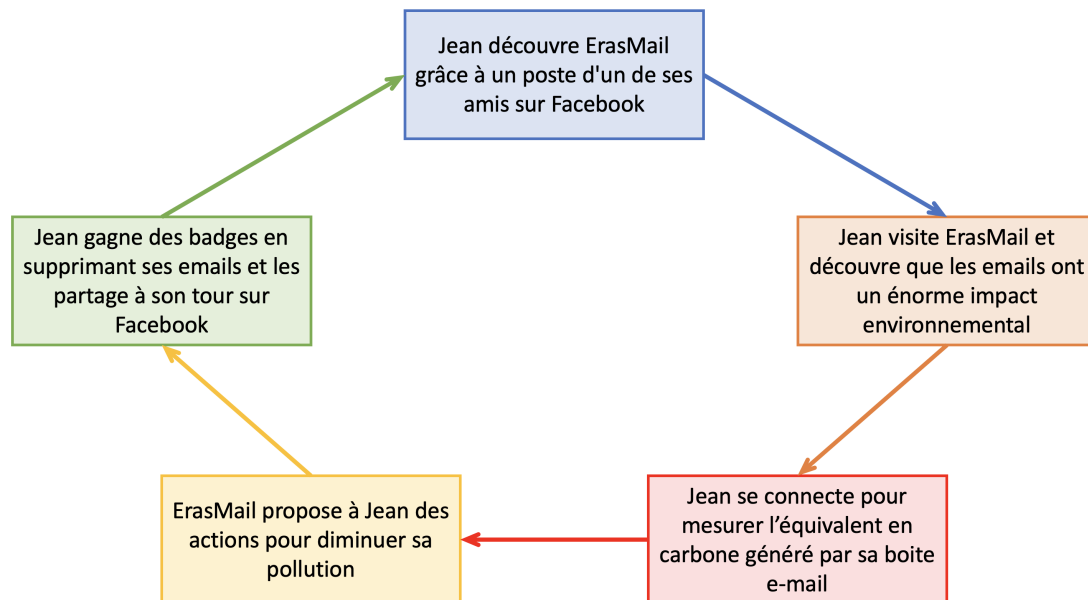


FIGURE 4.1 – Le cycle de vie d'un utilisateur

## 4.2 Modules

Dans cette section nous décrirons toutes les fonctionnalités de chaque module d'ErasMail à travers l'analyse des pages de l'application web et nous analyserons comment celles-ci répondent à notre triple objectif.

Au-delà de chacune des fonctionnalités qui seront décrites dans cette section, il y a également l'ergonomie de l'application sur laquelle nous avons énormément travaillé. Nous avons mené un processus de réflexion important pour déterminer quelle était la meilleure façon de présenter les données à l'utilisateur, tout en réalisant notre vision incarnée par notre triple objectif. Les interfaces ont été réfléchies pour réaliser ce triple objectif sans pour autant submerger l'utilisateur d'informations. Nous voyons cette réflexion que nous avons menée ainsi que la réalisation de cette vision comme une contribution importante de notre mémoire tout aussi importante que le reste.

### 4.2.1 Connexion

#### Page d'accueil

C'est sur cette page (figure 4.2 et figure 4.3) que l'utilisateur arrive lorsqu'il se rend sur ErasMail. Sur celle-ci, il retrouvera des informations importantes telles que : nos motivations, nos fonctionnalités, des explications sur la confidentialité et la sécurité.

Si l'utilisateur décide de continuer avec ErasMail, il peut alors insérer son adresse email sur la partie supérieure de la page, ce qui l'amènera à la page de connexion.

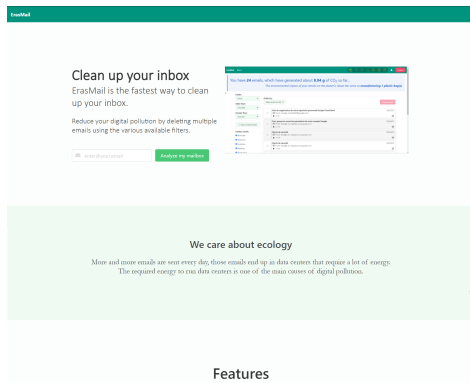


FIGURE 4.2 – Page d'accueil partie supérieure

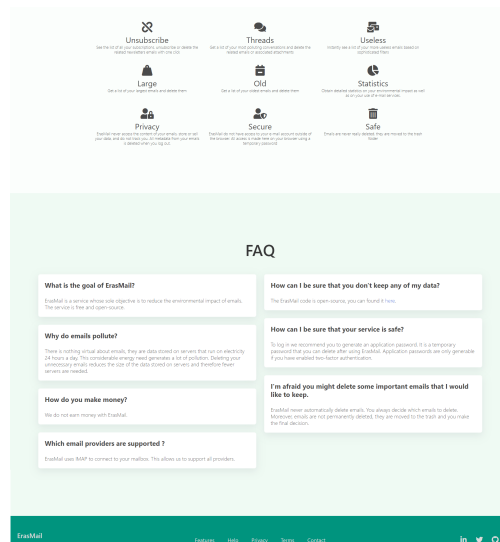


FIGURE 4.3 – Page d'accueil partie inférieure

## 4.2.2 Page de connexion

La page de connexion est visible à la figure 4.4, c'est sur cette page que l'utilisateur arrive lorsqu'il insère son adresse email dans la page d'accueil. Une interface itérative s'affiche alors, à la première étape de celle-ci (1), des explications sur comment générer un mot de passe d'application sont communiquées à l'utilisateur.

Une fois le mot de passe d'application généré, l'utilisateur clique alors sur suivant et arrive à la seconde interface itérative (2), dans cette interface, l'utilisateur est prié d'insérer le mot de passe qu'il vient de générer, pour se connecter.

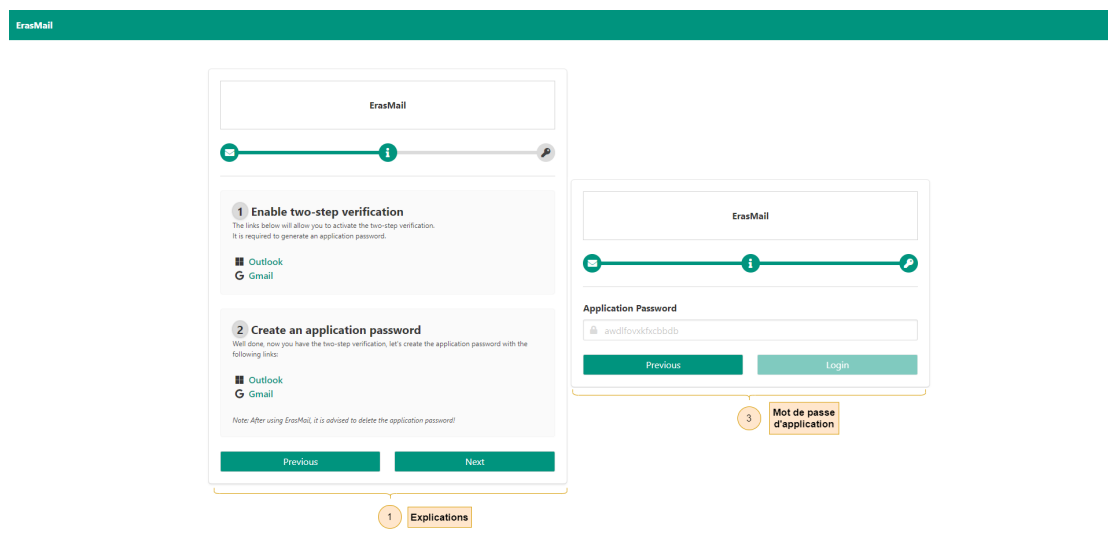


FIGURE 4.4 – Page de connexion

## Page de chargement

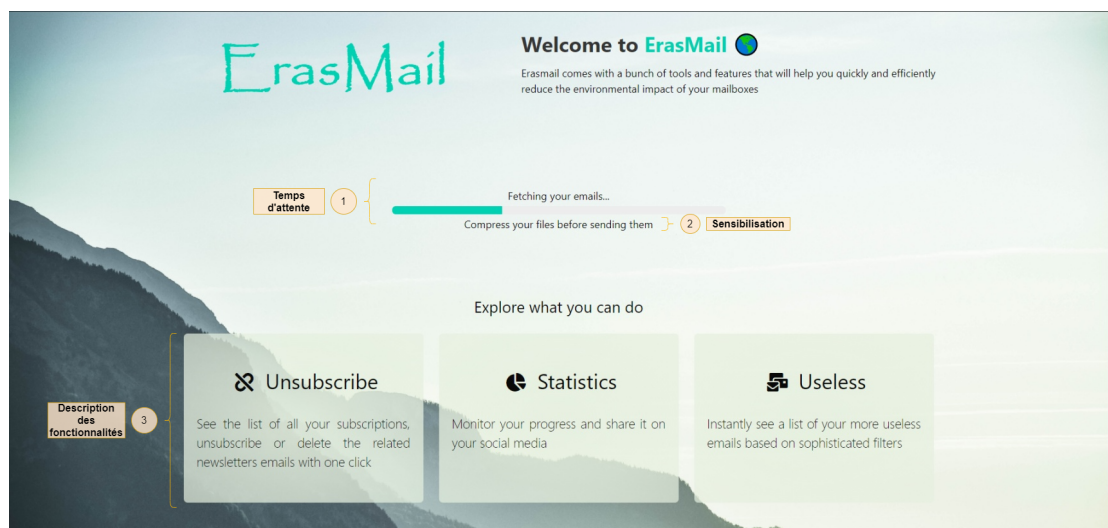


FIGURE 4.5 – Page de chargement

La page de chargement (figure 4.5) est visible lorsque l'utilisateur se connecte, celle-ci sert à faire attendre l'utilisateur pendant qu'ErasMail analyse sa boîte email afin de déterminer les groupes d'emails les plus polluants (1).

Pour rendre utile ce temps d'attente requis par l'analyse, des messages de sensibilisation à la pollution des emails défilent à l'écran (2). Ils sont là pour permettre une première prise de conscience comme le veut notre second objectif.

Un dernier élément important visible au bas de cette page, c'est la liste de certaines fonctionnalités d'ErasMail (3). Nous utilisons le temps de chargement pour permettre à l'utilisateur de prendre connaissance de certaines de nos fonctionnalités. Nous espérons ainsi qu'il ait un maximum de repères dès le début pour qu'il n'abandonne pas par la suite l'utilisation du logiciel.

## Menu principal

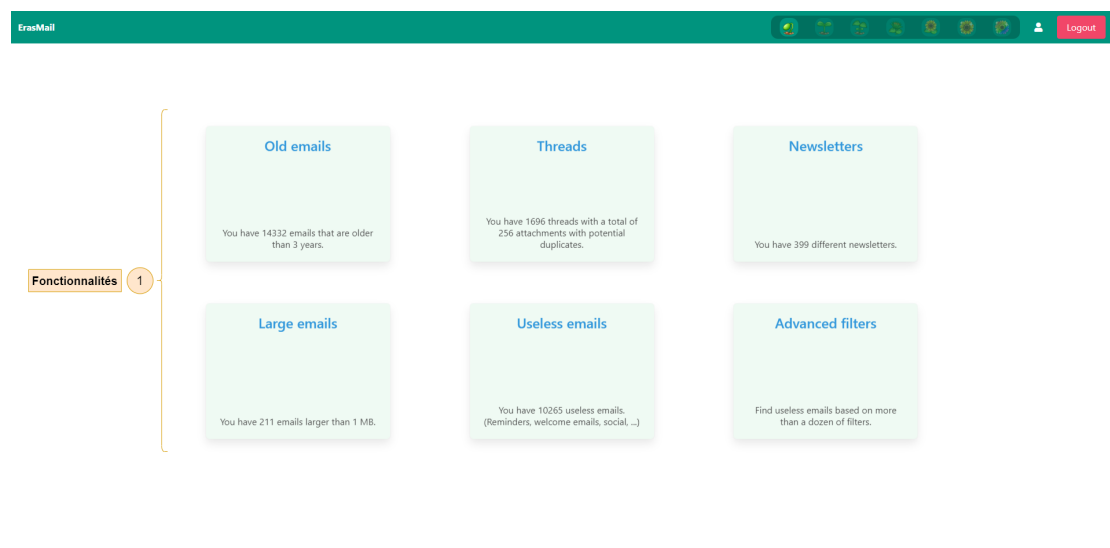


FIGURE 4.6 – Menu principal

Une fois la boîte email analysée, c'est le menu principal (figure 4.6) qui est affiché. Ce menu consiste en 6 rectangles, chaque rectangle correspondant à une fonctionnalité principale (1). Chaque fonctionnalité permet d'agir sur un groupe d'email identifié par ErasMail comme inutile et polluant.

La particularité de ces rectangles, c'est l'effet actionné lorsqu'un utilisateur passe sa souris sur l'un d'eux. Lorsque la souris passe sur un des rectangles, celui-ci se retourne et indique à l'utilisateur la quantité de pollution générée par le groupe d'email ciblé par la fonctionnalité.



FIGURE 4.7 – Carte retournée

La pollution est toujours accompagnée d'une comparaison frappante qui permet une meilleure prise de conscience que des valeurs brutes. Le résultat est visible à la figure 4.7 sera présentée plus en détail dans les sections suivantes.

Tout au long du processus du développement d'ErasMail, une question nous préoccupait : comment pouvons-nous sensibiliser les gens à la pollution sans toutefois surcharger le site d'information et ainsi provoquer le découragement de l'utilisateur ? Les cartes qui se retournent s'inscrivent dans cette réflexion-là, nous utilisons ce système pour que l'expérience de l'utilisateur sur le site soit la plus agréable possible et qu'il soit ainsi incité à continuer son aventure sur ErasMail.

## 4.2.3 Fils de discussion

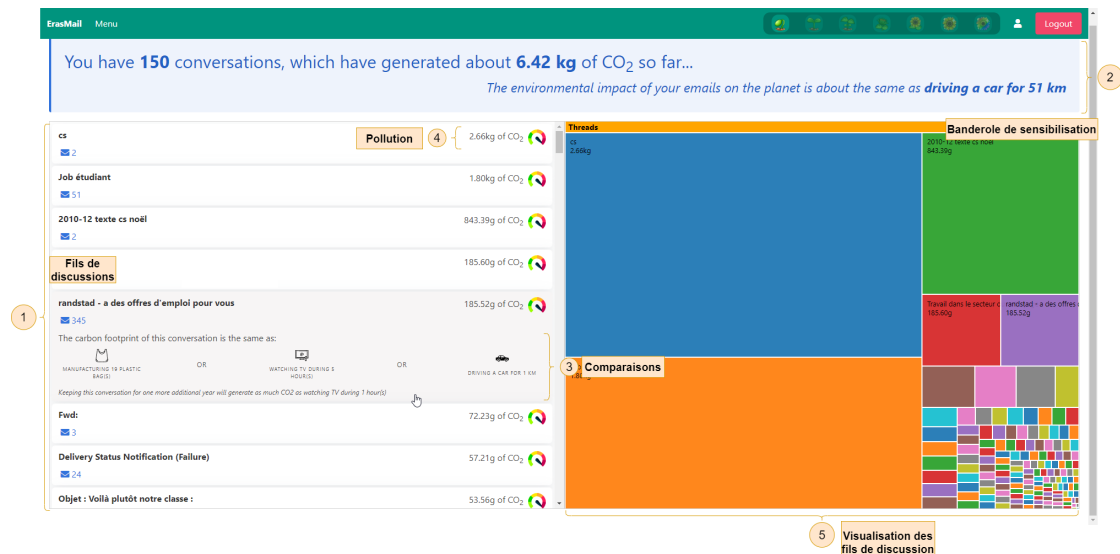


FIGURE 4.8 – Page de la fonctionnalité permettant d’agir sur les fils de discussion

La page des fils de discussion (figure 4.8) contient notre fonctionnalité phare permettant d’agir sur les fils de discussion <sup>1</sup>.

Pouvoir offrir une fonctionnalité agissant sur les fils de discussion était essentiel pour nous parce qu’ils contiennent souvent des emails avec des pièces jointes redondantes, telles que des révisions de document. Les pièces jointes contenues dans les fils de discussion sont problématiques pour deux raisons :

- Habituellement, il n’y a que la dernière pièce jointe envoyée qui est utile parce que ce sont souvent des révisions de documents (par exemple, l’étudiant qui échange plusieurs fois avec son collègue, une nouvelle version d’un rapport de projet). Les autres pièces jointes sont alors stockées inutilement.
- Elles ont une taille beaucoup plus grande qu’un email normal (textuel)

Le modèle développé au chapitre 3 montre que la taille de l’email est proportionnelle à la pollution générée. Par conséquent, ces fils de discussion seront fréquemment des nids de pollution dormante, il était donc primordial que les utilisateurs puissent agir. Les utilisateurs pourront agir des manières suivantes :

- Identifier les conversations les plus polluantes (2,3,4,5)
- Supprimer la conversation ou des emails faisant partie de celle-ci (8)
- Détecter les pièces jointes redondantes dans les conversations (7)

1. Un fil de discussion est un message qui comprend une liste de toutes les réponses à un email d’origine, ils sont communément appelés en anglais «threads»

- Supprimer les pièces jointes d'un email (8)

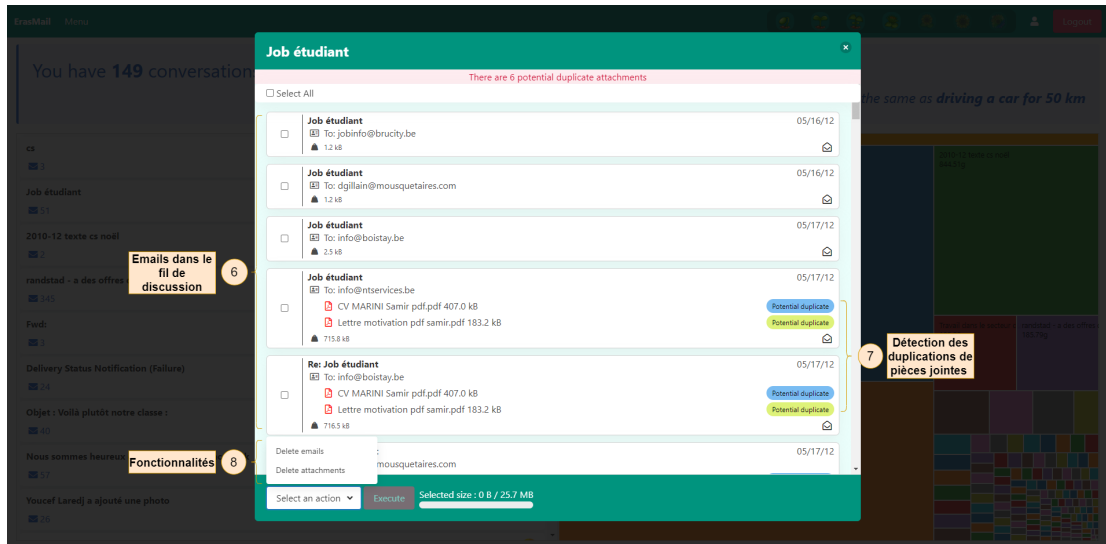


FIGURE 4.9 – Page visible lorsqu'on clique sur un fil de discussion

Dans cette fonctionnalité, la sensibilisation des utilisateurs est omniprésente. On la retrouve d'abord tout en haut de la page sous forme d'un résumé de la pollution engendrée par les conversations de l'utilisateur (2). On la retrouve ensuite sur les conversations, sous forme d'une jauge qui permet aux utilisateurs de juger l'impact écologique de la conversation (4). Pour finir, on la retrouve lorsqu'on passe la souris sur une conversation, on voit alors apparaître des comparaisons avec des objets du quotidien (1).

Pour ne pas décourager la personne qui l'utilise, nous avons fait en sorte de travailler l'aspect visuel de cette fonctionnalité. L'utilisateur n'aura pas à faire défiler la page de manière infinie pour voir ses conversations, il pourra trouver à droite de la page une représentation visuelle de ses conversations (5). Il peut ainsi très rapidement identifier celles sur lesquelles il veut agir.

## 4.2.4 Newsletters

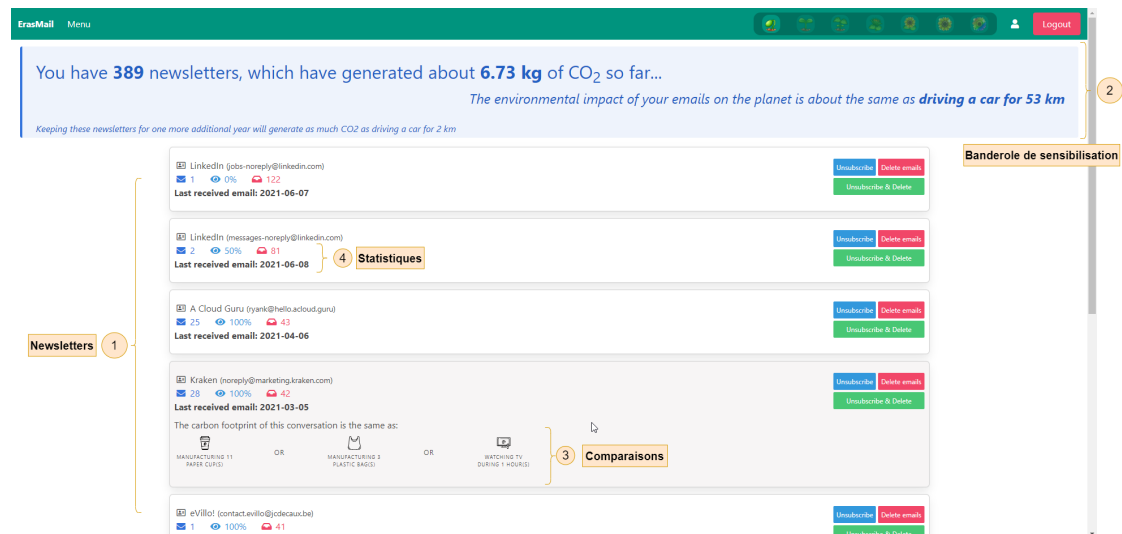


FIGURE 4.10 – Sur la page des newsletters il est possible de se désabonner et supprimer les emails associés aux newsletters ainsi qu’obtenir des statistiques

La page des newsletters (figure 4.10) contient une fonctionnalité importante permettant d’agir sur les newsletters<sup>2</sup>

La newsletter est le seul type d’email qui nous permet d’agir au-delà du stockage. Supprimer un simple email ne permet de réduire que la pollution générée par son stockage parce que toutes les autres étapes de son cycle de vie ont déjà été consommées : l’email a déjà été rédigé, l’email a déjà été transféré et l’email a déjà été lu. Contrairement à la suppression d’un simple email, le désabonnement d’une newsletter empêche l’envoi de futurs emails, en faisant cela, nous agissons sur toutes les étapes du cycle de vie de l’email ce qui évite un maximum de pollution future. Mettre à disposition une fonctionnalité agissant sur les newsletters était donc important. Les utilisateurs pourront agir des manières suivantes :

- L’identification des newsletters les plus polluantes
- La possibilité de se désabonner des newsletters
- La possibilité de supprimer les emails associés à ces newsletters mêmes pour celles auxquelles l’utilisateur est désabonné
- Obtenir des statistiques telles que le taux d’ouverture, le nombre d’emails reçus et une prévision du nombre d’emails que l’utilisateur recevra une certaine newsletter (4)

2. Une newsletter est une lettre d’information envoyée régulièrement par email à une liste de diffusion, c’est-à-dire à des abonnés.

De la même manière que la fonctionnalité précédente, la pollution est une question centrale dans cette fonctionnalité. L'utilisateur dispose de deux moyens pour identifier l'impact environnemental de ses emails. D'abord, celui-ci peut avoir un retour général sur la pollution totale générée par ses newsletters à travers la banderole (2). Ensuite, il s'il le souhaite, il peut identifier la pollution générée par une seule newsletter en passant sa souris sur celle-ci (3).

C'est toujours dans cette ligne directrice qui consiste à ne pas submerger l'utilisateur d'informations que s'inscrivent les comparaisons en (3). Elles sont le fruit d'une réflexion poussée sur la disposition des informations sur la page.

## 4.2.5 Emails et filtres avancés

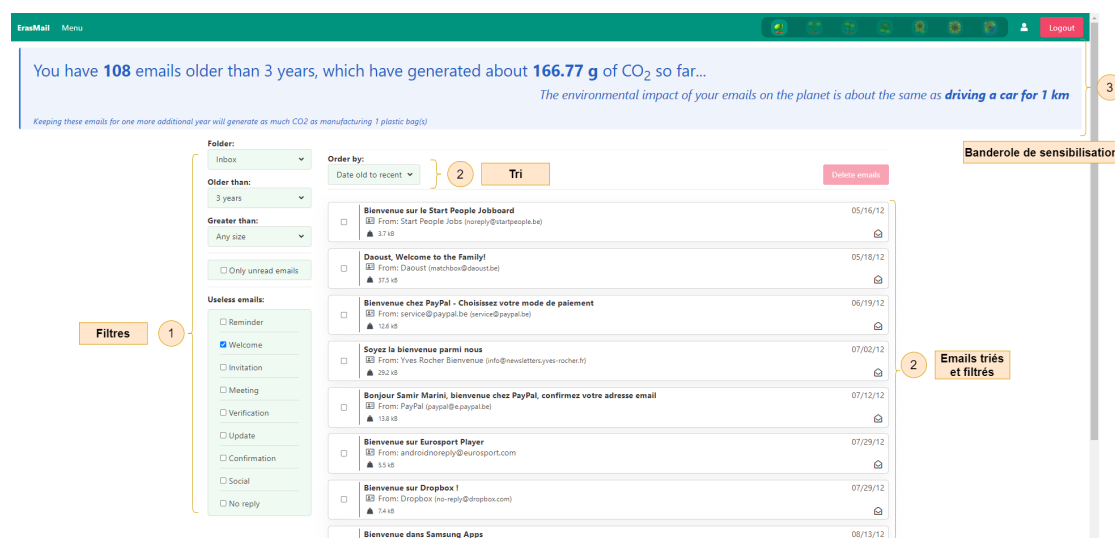


FIGURE 4.11 – Page des filtres

Ce que nous appelons « filtres avancés » c'est une page implémentant plusieurs fonctionnalités majeures à travers l'utilisation d'un système de filtres. Par exemple, lorsque l'utilisateur cliquera dans le menu principal sur la fonctionnalité « emails anciens », il arrivera sur cette unique page visible à la figure 4.11 où le filtre permettant de choisir une date sera déjà configuré. Les fonctionnalités implémentées par la page de filtres avancés sont :

- L'identification et la suppression des emails anciens (filtrés sur base d'une date)

- L'identification et la suppression des emails lourds (filtrés sur base d'une taille)
- L'identification et la suppression des emails non ouverts
- L'identification et la suppression des emails appartenant à un certain dossier
- L'identification et la suppression des emails inutiles (ex : rappels, confirmation de commande, etc...)
- La possibilité d'identifier des emails sur base d'une combinaison de tous les filtres précédemment mentionnés

En créant cette interface aux multiples filtres, nous permettons à l'utilisateur de déterminer lui-même les groupes d'emails sur lesquels il veut agir, ainsi, pendant tout le processus d'action, il a toujours conscience à quels groupes les emails qu'il a devant lui, appartiennent.

La force des filtres, c'est leur nature combinable, les utilisateurs qui le souhaitent pourront combiner plusieurs filtres (1) ce qui provoquera comme résultat l'identification de certains emails inutiles de façon très précise. Une combinaison de filtre pourrait être par exemple : les emails se trouvant dans le dossier « Inbox » de plus d'1Mo, n'ayant pas été ouvert et datant de plus de deux années.

En plus des filtres, l'utilisateur peut trier les emails obtenus sur base de :

- la date
- la taille
- la pollution générée jusqu'à maintenant
- l'estimation de la pollution générée dans le futur

Ce système de tri (2) rajoute une surcouche au système de filtration rendant ainsi l'identification des emails les plus inutiles encore plus facile et plus efficace.

## 4.2.6 Profil

La page de profil est divisée en 4 sous-pages, chaque page correspondant à une fonctionnalité. Les quatre pages sont les suivantes :

- Les badges (figure 4.13)
- Les succès (figure 4.14)
- Le classement (figure 4.15)
- Les statistiques (figure 4.12)

Les trois premières fonctionnalités seront vues en détail à la section suivante. Vous pouvez les retrouver dans leurs pages respectives à aux figures 4.14, 4.13, et 4.15. Ces trois pages-là sont l'incarnation de notre système de gamification. C'est là que l'utilisateur peut trouver ses badges, sa place dans le classement ainsi que

les succès qu'il a débloqués.

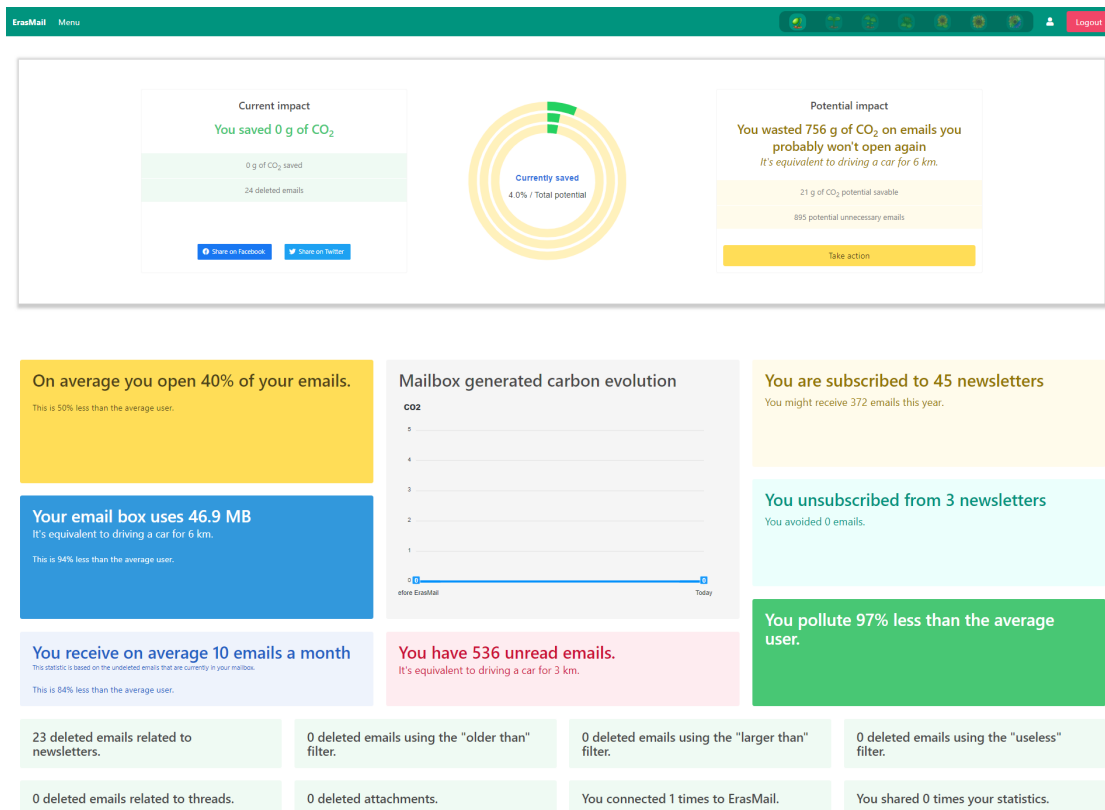


FIGURE 4.12 – Page des statistiques

La dernière fonctionnalité que nous décrivons est celle des **statistiques**.

Comme son nom l'indique, la page de statistiques contient toute une série de statistiques en lien avec le comportement de l'utilisateur sur ErasMail. La vocation première de cette page est de sensibiliser l'utilisateur à l'impact de sa boîte email ainsi qu'encourager lui et son entourage à utiliser ErasMail.

Sur cette page l'utilisateur peut connaître :

- L'impact environnemental des actions qu'il a menées jusqu'à maintenant dans ErasMail
- L'impact qu'il pourrait avoir en nettoyant encore plus sa boîte email
- Une série de statistiques sur sa boîte email telles que :
  - Le taux d'ouverture de ses emails
  - La taille de sa boîte email
  - Le nombre d'emails qu'il reçoit
- Une série de statistiques sur les actions qu'il a mené avec ErasMail telles que :

- Le nombre de pièces jointes effacées
- Le nombre de newsletters auxquelles il s'est désabonné
- Le nombre de fois qu'il s'est connecté à ErasMail

Un aspect important de la page de statistiques c'est sa contribution à notre troisième objectif qui est d'inciter à l'utilisation d'ErasMail. L'utilisateur peut, s'il le souhaite, partager ses statistiques sur les réseaux sociaux et ainsi pousser d'autres personnes à réduire leur impact environnemental.

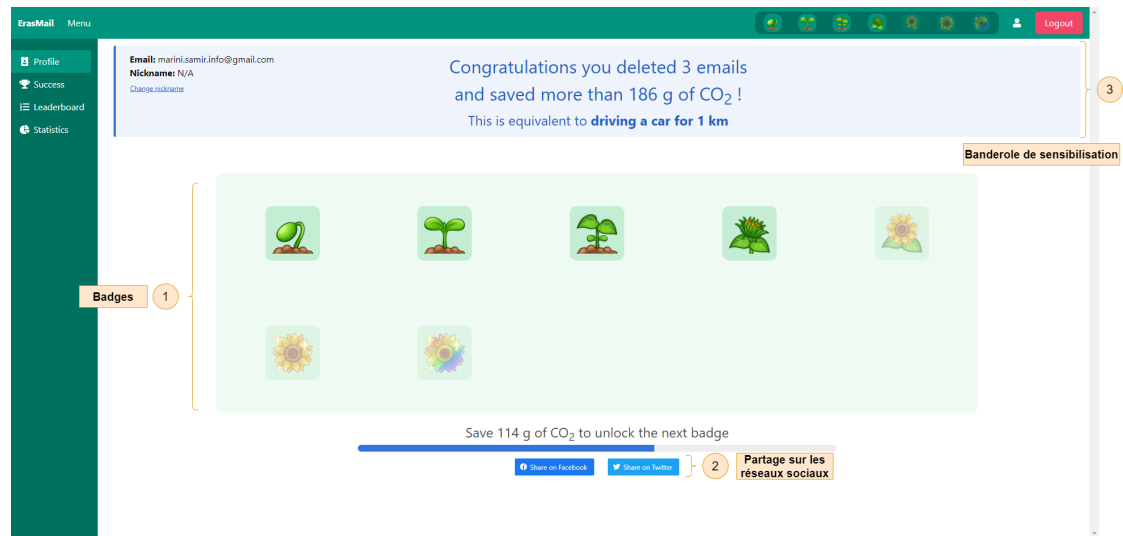


FIGURE 4.13 – Page de profil : badges

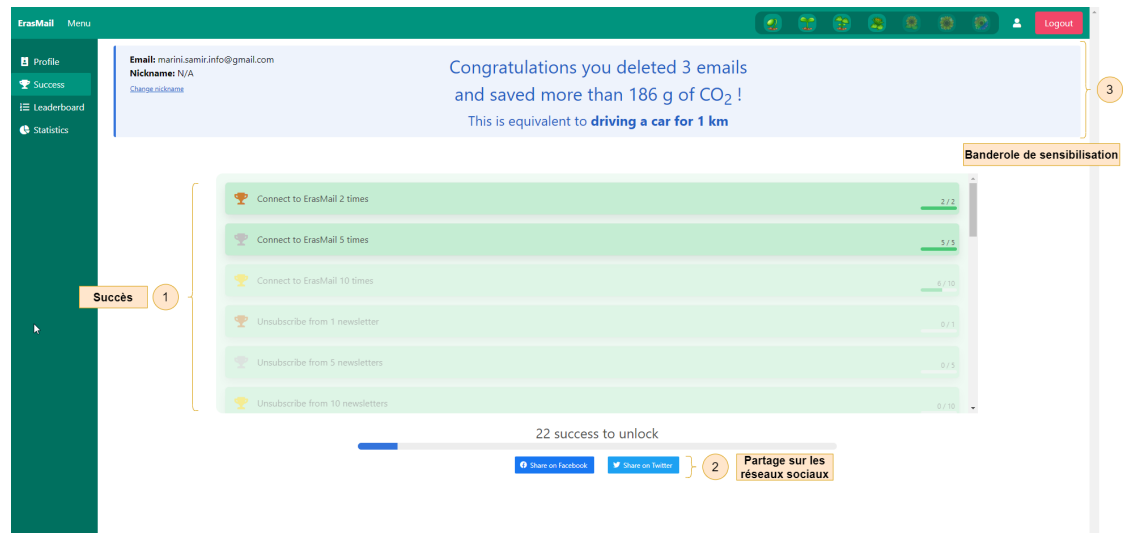


FIGURE 4.14 – Page de profil : succès

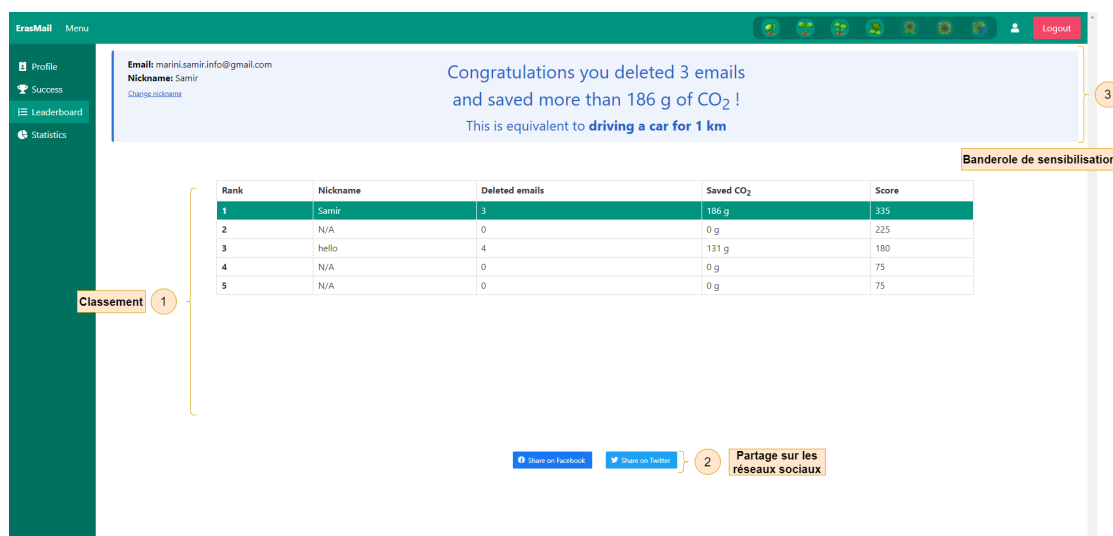


FIGURE 4.15 – Page de profil : classement

## 4.3 Concepts-clés

Avant de continuer, nous voulons développer un peu plus en détail quelques concepts-clés qu’ErasMail met en œuvre. Contrairement aux fonctionnalités principales qui sont isolées individuellement dans leurs propres pages, ces concepts-clés sont présents dans toutes les pages du logiciel.

### 4.3.1 Sensibilisation

Le premier concept-clé est celui de la prise de conscience et de la sensibilisation. La majorité des citoyens (67%) interrogés dans notre enquête ne savent pas ce que représente exactement la pollution exprimée en grammes de CO<sub>2</sub>. Dès lors, si nous voulons atteindre les utilisateurs d’ErasMail, nous devons trouver un moyen pour mieux illustrer ces valeurs en grammes de CO<sub>2</sub>.

Ce que nous avons décidé de faire, c’est de toujours accompagner les valeurs brutes de comparaisons avec des objets du quotidien. Par exemple, l’utilisateur ne lira pas qu’un certain email génère 10 grammes de CO<sub>2</sub> mais plutôt que cette pollution est équivalente à la fabrication d’un sac en plastique non réutilisable.

Pour déterminer quelles étaient les comparaisons les plus frappantes, des propositions ont été faites dans l’enquête que nous avons menée. Ce sont les 175 participants qui ont choisi parmi des comparaisons équivalentes celles qui leur semblaient les plus impressionnantes sur deux ensembles de comparaisons représentant

deux niveaux de pollution différents.

Le premier ensemble contenait des comparaisons équivalentes entre :

1. La fabrication de sacs en plastique
2. La fabrication de gobelets
3. Un trajet en voiture

Les répondants ont trouvé que les comparaisons 1. et 3. étaient les plus frappantes. Les résultats sont visibles à la figure 1.16.

Le second ensemble contenait des comparaisons équivalentes entre :

1. L'utilisation d'une télévision pendant une certaine durée
2. L'utilisation d'un réfrigérateur pendant une certaine durée
3. L'utilisation d'un micro-ondes pendant une certaine durée

Les répondants ont trouvé que la comparaison 2. était la plus frappante. Les résultats sont visibles à la figure 1.17.

Une fois ces données en main, nous les avons rendues omniprésentes dans ErasMail en les intégrant dans toutes les pages à travers l'utilisation de plusieurs interfaces. Nous allons maintenant passer en revue quelques-unes de ces interfaces de façon individuelle et hors de leur contexte. Elles ont été présentées dans le contexte dans lequel elles étaient utilisées à la section précédente.

À la figure 4.16 se trouve ce que nous appelons « la banderole », nous avons vu à la section précédente que celle-ci se trouve dans tous les modules d'ErasMail. Elle sert à sensibiliser les utilisateurs à la pollution générée par les emails ciblés par le module où elle est visible. Dans la partie inférieure se trouve la comparaison avec un élément du quotidien, qui permet de mieux illustrer cette pollution.

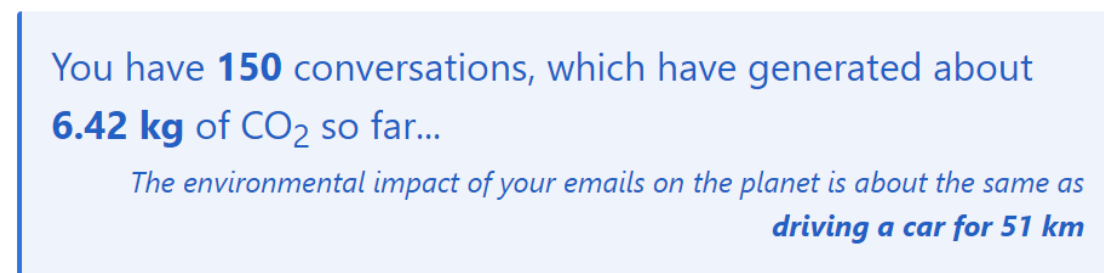


FIGURE 4.16 – Banderole de sensibilisation utilisée dans toutes les fonctionnalités. Celle sur cette image est celle qu'on retrouve dans la fonctionnalité «conversations».

À la figure 4.17 se trouve une interface de sensibilisation qui est utilisée lorsque nous devons communiquer la pollution générée par un groupe d'emails bien particulier. Par exemple, une newsletter ou une conversation.

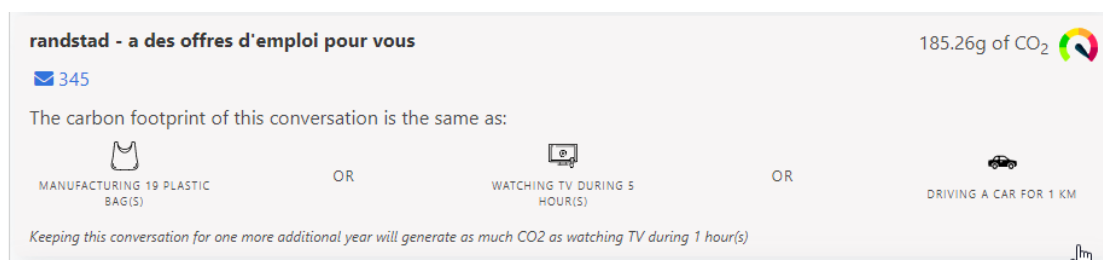


FIGURE 4.17 – Interface sensibilisant à la pollution générée par un groupe d’emails, dans le cas de cette image il s’agit d’une conversation (thread)

Un dernier exemple de ces interfaces utilisées afin de sensibiliser les utilisateurs, est celle présente à la figure 4.18. À l’instar de la banderole présentée à la figure 4.16, cette interface sert à identifier la pollution générée par un groupe d’email visé par une fonctionnalité, il ne s’agit pas par exemple de la pollution d’une seule newsletter, provenant d’un expéditeur, mais plutôt de l’ensemble de toutes les newsletters présentes dans la boîte email.

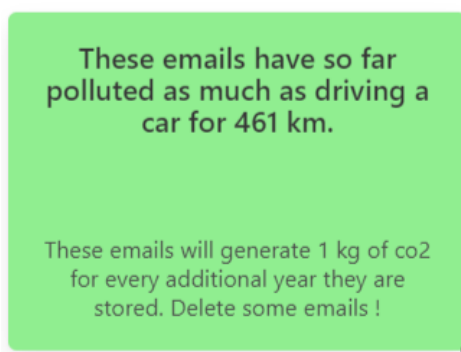


FIGURE 4.18 – Interface utilisée dans le menu d’accueil.

### 4.3.2 Incitatifs à l’utilisation d’ErasMail

Le second concept clé est celui de la gamification. Pour rappel, la gamification peut être définie comme «*l’utilisation de mécanismes de jeux afin d’augmenter l’acceptabilité et l’usage d’une application en s’appuyant sur la prédisposition humaine au jeu.*»<sup>3</sup>.

Selon notre enquête (section 1.3), 87.3% des personnes interrogées se portent volontaires à utiliser un outil de nettoyage de boîte email tel que notre logiciel. Nous considérons qu’il s’agit de la motivation intrinsèque des personnes.

Pour augmenter leur impact écologique au maximum, les utilisateurs ne doivent pas seulement utiliser ErasMail mais également supprimer le plus d’emails possible.

3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gamification>

De façon générale, pour participer à l'effort écologique il est essentiel d'encourager les comportements suivant :

- Avoir l'envie de consulter ErasMail régulièrement.
- Réduire au maximum l'empreinte carbone de sa boîte email.
- Propager des messages incitant à l'utilisation d'ErasMail.

Nous avons décidé d'encourager ces comportements en motivant extrinsèquement les utilisateurs à l'aide d'un système incitatif. Celui-ci récompense les utilisateurs selon l'impact de leurs actions. ErasMail implémente 3 systèmes incitatifs, dits de gamification :

- Le classement
- Le déblocage de succès
- Le gain de badges évolutifs

## Le classement

Le classement (figure 4.19) est une technique de gamification couramment utilisée dans l'industrie. Il permet de comparer les utilisateurs entre eux et de jauger leurs performances. De plus, un classement incite les compétiteurs à utiliser davantage le logiciel pour monter dans ce classement. C'est pour cela que nous avons choisi d'implémenter un classement basé sur le nombre de connexions, la quantité de CO<sub>2</sub> sauvé et le nombre de partages sur les réseaux sociaux. Cette métrique offre la possibilité à tous les utilisateurs d'atteindre la première place du classement indépendamment de la taille de leur boîte email.

Rank	Nickname	Deleted emails	Saved CO <sub>2</sub>	Score
1	Samir	9	2 g	577
2	N/A	7	5 g	55
3	Marc	0	0 g	50
4	Louis	0	0 g	25
5	Edgar	0	0 g	25

FIGURE 4.19 – Interface du classement dans la page de profil.

## Les succès

L'objectif des succès (figure 4.20) est de guider l'utilisateur à travers ErasMail. En effet, il peut débloquent des succès en réalisant des tâches précises. Ci-dessous se trouve la liste des succès disponibles dans ErasMail :

- Se connecter plusieurs fois à ErasMail.
- Se désabonner de newsletters.
- Supprimer des emails en lien avec chacune des fonctionnalités d'ErasMail.

- Supprimer des pièces jointes.
- Partager sur les réseaux sociaux des statistiques sur le CO<sub>2</sub> sauvé.



FIGURE 4.20 – Interface des succès dans la page de profil.

Dans notre logiciel les succès sont présents partout, les actions des utilisateurs sont retenues et une notification est lancée (figure 4.21) lorsque celui-ci atteint le seuil nécessaire pour débloquer un succès.

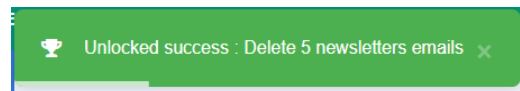


FIGURE 4.21 – Notification obtenue lorsqu'un succès est débloqué.

## Les badges

ErasMail offre également des badges (figure 4.22) à ses utilisateurs les plus fidèles. Contrairement aux succès, les badges ne s'obtiennent pas après avoir réalisé une tâche précise, mais plutôt lorsqu'un pallier dans le processus de nettoyage de sa boîte email a été atteint. La particularité de ces badges est leur nature évolutive. Un nouvel utilisateur fraîchement inscrit recevra un badge de bienvenue. Ce dernier évoluera au fur et à mesure que l'utilisateur prouvera son attachement à la communauté ErasMail en nettoyant régulièrement sa boîte email.

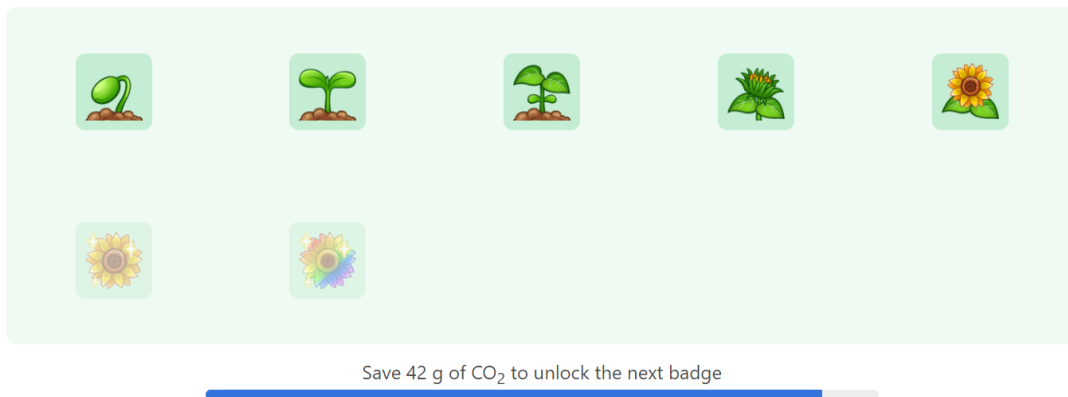


FIGURE 4.22 – Interface des badges dans la page de profil.

Semblablement aux succès, les badges sont également présents partout grâce à leur incrustation dans la barre de navigation (figure 4.23). De cette manière, l'utilisateur connaît à tout moment sa progression dans l'obtention des badges.



FIGURE 4.23 – Les badges sont également visibles à tout moment dans la barre de navigation.

## Les réseaux sociaux

L'aspect social de la gamification peut être amplifié par le partage sur les réseaux sociaux. Comme expliqué précédemment, l'impact de la gamification sur l'utilisation d'un logiciel est corrélée positivement avec l'exposition des utilisateurs aux autres utilisateurs du logiciel. ErasMail permet de partager sur les réseaux sociaux, par exemple, la position dans le classement qu'un utilisateur vient de gagner. Ce partage à également un effet secondaire, il permet de propager davantage l'existence d'ErasMail au sein de la population.

Concrètement, l'utilisateur pourra partager :

- Sa place dans le classement
- Les badges débloqués
- Les succès débloqués
- Son impact environnemental (figure 4.24)

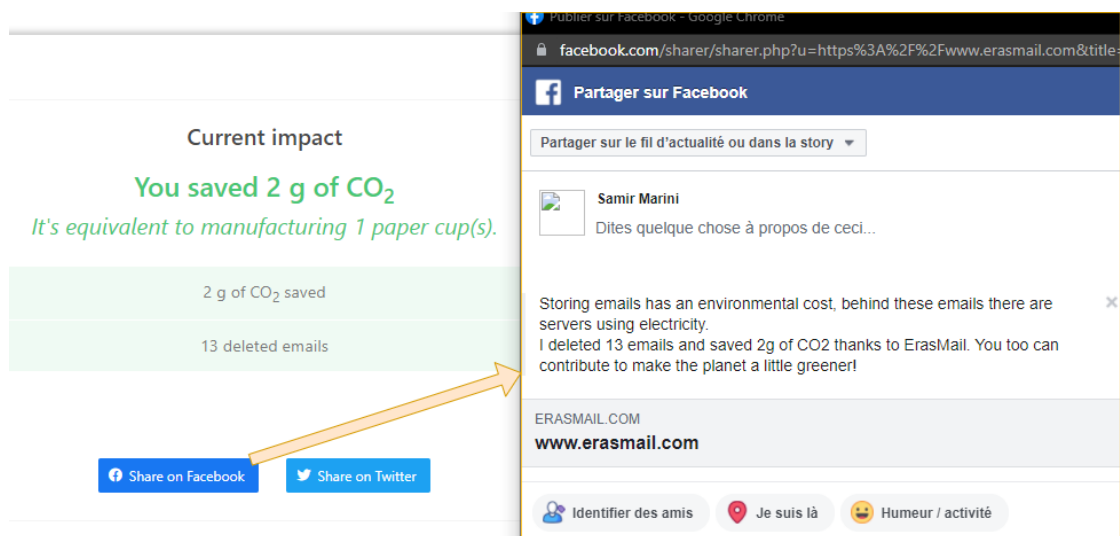


FIGURE 4.24 – Exemple de l'interface de partage visible lorsque l'utilisateur souhaite partager son impact environnemental sur Facebook.

# Chapitre 5

## Mise en œuvre technique d'ErasMail

Dans ce chapitre, nous discuterons de la mise en œuvre d'ErasMail. Sur la figure 5.1, nous pouvons apercevoir une vue d'ensemble de toutes les technologies utilisées par notre site web. Nous pouvons séparer les technologies utilisées en deux groupes distincts, le client et le serveur. En plus de ces groupes, il y a des acteurs externes tels que les fournisseurs de services email (Gmail, Outlook, etc.) et les réseaux sociaux (Facebook, Twitter, etc.).

Pour faciliter le développement d'ErasMail, nous avons utilisé des frameworks<sup>1</sup>. En ce qui concerne le côté client, nous avons choisi Vue.js pour les interactions avec l'utilisateur et Bulma pour l'esthétique de l'application web. Pour le côté serveur, nous avons choisi Django.

La figure 5.1 décrit également les interactions entre les différentes entités. Ci-dessous, la description de ces interactions :

1. Pour afficher les données spécifiques aux utilisateurs ou encore pour exécuter les actions des utilisateurs (ex. supprimer un email), le client envoie des requêtes au serveur. Le serveur enverra une réponse au client avec des informations utiles. Cette interaction est faite grâce au protocole HTTP<sup>2</sup>. Durant cette communication, Unicorn intervient en tant que tampon entre le protocole HTTP et Django. Au niveau du client, nous retrouvons NGINX qui d'une part dirige les requêtes vers les bonnes adresses et d'autre part charge les fichiers de Vue.js sur l'ordinateur de l'utilisateur.
2. Notamment pour récupérer les emails des utilisateurs, le serveur doit com-

---

1. Cadre de conception en français.

2. HTTP est un protocole de communication client-serveur développé pour le World Wide Web (Wikipedia)

municipier avec le fournisseur email de ces derniers. Le protocole IMAP<sup>3</sup> est alors utilisé lors de cette communication.

3. Étant donné que certaines informations doivent être sauvegardées de manière persistante (ex. les statistiques), le serveur utilise une base de données pour stocker ces informations.
4. Django traite plusieurs types de requêtes, parmi celles-ci, il y en a certaines qui nécessitent un temps considérable pour être exécutées. Afin de ne pas monopoliser un canal de communication trop longtemps, Django exécute ces requêtes de manière asynchrone en s'appuyant sur Celery et Redis.
5. ErasMail permet de partager des informations sur les réseaux sociaux, il envoie des requêtes à ces réseaux sociaux pour créer une publication adéquate. L'utilisateur n'aura plus qu'à confirmer la publication pour la partager.

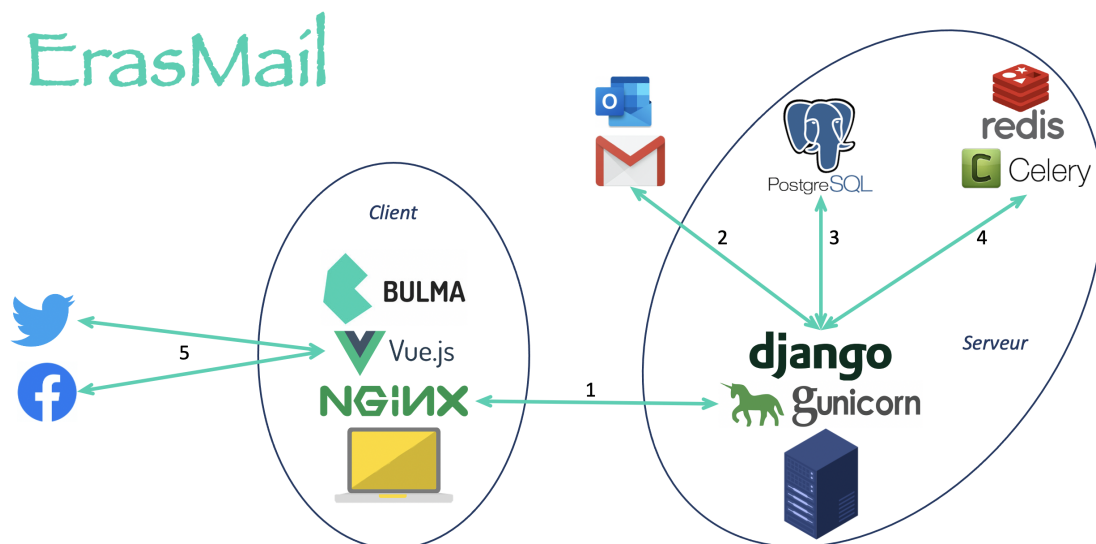


FIGURE 5.1 – Les technologies utilisées par notre application web ErasMail.

Dans la suite de ce chapitre, nous verrons les défis techniques et les choix technologiques. Nous finirons par expliquer le déploiement d'ErasMail.

## 5.1 Défis techniques

Lors du développement d'ErasMail, nous avons rencontré plusieurs défis techniques. Ci-dessous, nous vous présentons les plus pertinentes et la manière dont nous les avons surmontés.

---

3. IMAP est un protocole qui permet d'accéder à ses courriers électroniques sur les serveurs de messagerie (Wikipedia).

### 5.1.1 Limiter la pollution engendrée par ErasMail

Tout comme les emails, faire des requêtes et télécharger des données auprès des serveurs engendre inévitablement une consommation d'électricité<sup>4</sup>, donc, une émission de CO<sub>2</sub>. La finalité d'ErasMail est de réduire l'impact environnemental des emails, notre solution ne doit pas produire plus de pollution que le problème ou que ce qu'elle permet de réduire, en d'autres termes, le remède ne doit pas être pire que le mal. Par conséquent, il est primordial de minimiser le nombre de requêtes exécutées ainsi que la quantité de données téléchargées.

Nous avons décidé de traiter uniquement les métadonnées dans les en-têtes donc nous ne téléchargeons pas le contenu des emails. D'une part, cela permet de diminuer drastiquement les données échangées entre les serveurs. Pour une boîte email d'environ 2 GB, seulement 50 Mo sont téléchargés. D'autre part, nous limitons l'exposition des données privées de l'utilisateur à son maximum.

Pouvoir offrir autant de fonctionnalités sur base de métadonnées a été très difficile. La solution à la plupart des problèmes auxquels nous avons fait face était de télécharger le contenu de l'email, à chaque reprise, un effort a dû être fait pour ne pas céder à cette solution polluante. Un exemple d'une telle situation c'est lorsqu'il était nécessaire de détecter les pièces jointes d'un email ainsi que de déterminer si elles étaient des potentiels doublons. Face à cette situation, nous avons cherché comment faire et l'unique solution qui revenait était de télécharger les emails. Finalement, après plusieurs jours, nous avons trouvé un en-tête dans les métadonnées des emails qui parmi des dizaines de données contenait les informations que nous recherchions. Cette façon de faire n'était pas documentée sur internet et nous ne l'avions jamais croisé auparavant, c'est ce qui a rendu son utilisation difficile.

Toutes les métadonnées récupérées sont supprimées de la base de données lors de la déconnexion de l'utilisation. En d'autres termes, aucune donnée privée des utilisateurs n'est conservée après leurs déconnexions. Dans un premier temps, cela limite la pollution générée par le stockage de données dans notre base de données. Dans un second temps, cela garantit le respect de la vie privée de l'utilisateur. Par sa nature open-source, n'importe quelle personne qui douterait de nos intentions peut auditer dans notre code pour s'assurer que nous effaçons effectivement toutes les données à la déconnexion. C'est un des avantages de l'open-source.

---

4. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-face-cachee-numerique.pdf>

## 5.1.2 Les aspects liés à la sécurité

Il est évident que personne n'utiliserait un logiciel manipulant des données sensibles telles que les emails si celui-ci n'assure pas la protection des données de ses utilisateurs.

L'obstacle majeur que nous avons rencontré est la connexion vers les serveurs du fournisseur email. Nous avons envisagé 3 solutions possibles :

- **Demander le mot de passe à l'utilisateur.**

Il est vrai que cette solution est la plus simple à implémenter, néanmoins, elle repousserait les utilisateurs sceptiques. De plus, nous ne voulons pas prendre la responsabilité de sauvegarder des mots de passe dans notre base de données.

- **Se connecter avec le protocole OAuth.**

OAuth est un protocole qui permet d'autoriser une application à utiliser l'API d'un autre site web pour le compte d'un utilisateur. OAuth permettrait donc d'accéder aux emails des utilisateurs à travers l'API de leur fournisseur sans devoir conserver ou exposer le mot de passe de l'utilisateur. Bien que cette solution paraisse la plus adaptée à notre situation, elle a toutefois des inconvénients non négligeables à notre échelle. Pour pouvoir accéder à des données aussi sensibles que des emails, il faut effectuer un processus de vérification très long et très coûteux auprès du fournisseur en question pour évaluer la sécurité de l'application. Si le processus de vérification n'est pas fait, un grand message d'avertissement est affiché, message très contraignant.

- **Utiliser un mot de passe d'application<sup>5</sup>.**

Un mot de passe d'application permet de donner un accès complet aux données personnelles stockées sur les serveurs des fournisseurs email. Dans la majorité des cas, cette approche est déconseillée, car le site web ou le logiciel peut agir en tant que l'utilisateur. Cependant, ErasMail est un projet open source par conséquent les utilisateurs peuvent vérifier qu'aucun abus n'est commis, s'ils le souhaitent.

Nous avons donc opté pour la dernière solution parce qu'elle permet d'avoir un accès vers la boîte d'email de l'utilisateur en toute sécurité sans effrayer ce dernier par un message d'avertissement provenant de son fournisseur email. Si l'utilisateur le souhaite, il peut supprimer son mot de passe d'application et en recréer un nouveau lors de sa prochaine connexion sur ErasMail sans perdre ses récompenses et ses badges. De plus, cette solution est compatible avec tous les fournisseurs de

---

5. Un mot de passe d'application est un code secret grâce auquel une application peut accéder à votre boîte email. Ce mot de passe peut être supprimé par l'utilisateur et ne sera plus valide pour accéder à sa boîte email. Les mots de passe d'application ne peuvent être utilisés qu'avec les comptes où la validation en deux étapes est activée.

services email. De plus, pour qu'un mot de passe d'application puisse être généré, les fournisseurs email requièrent que l'option de double authentification de l'utilisateur soit activée, ce que nous considérons comme une couche de sécurité supplémentaire.

En plus de la connexion chez le fournisseur, nous devons sécuriser la communication entre le client et le serveur et celle entre le serveur et le fournisseur email (les interactions 1 et 2 sur la figure 5.1). Ces communications sont sécurisées grâce au protocole TLS. Celui-ci agit entre le serveur et le réseau pour chiffrer les données de l'utilisateur. Nous utilisons d'abord ce protocole avec HTTP pour sécuriser les données entrées par l'utilisateur dans ErasMail et avec IMAP pour sécuriser les métadonnées des emails récupérées depuis le fournisseur de services email.

Finalement, notre solution ne fait pas usage des techniques habituelles de traçage, telles que l'utilisation de cookies pour pister l'utilisateur ou pour obtenir des statistiques d'utilisation. Aucun traceur n'est utilisé.

## 5.2 Choix de mise en œuvre

Un framework (ou cadre de conception en français.) permet de simplifier et d'accélérer le développement d'un site web ou d'une application. Il peut être associé à une boîte d'outils dans laquelle nous pouvons trouver des composants qui résolvent des problèmes couramment rencontrés par les développeurs : arborescence, sécurités, normes, etc.<sup>6</sup>. Un framework a aussi des inconvénients (ex. il complexifie un projet, il augmente sa taille). Toutefois, les avantages de ces outils sont nettement supérieurs aux inconvénients dans un aussi grand projet que le nôtre.

Parmi les avantages, nous pouvons citer :

- **Architecture**

Un framework permet d'avoir un code propre et fonctionnel sans pénaliser les performances du logiciel.

- **Productivité**

Il permet d'uniformiser le développement d'un site. Les tâches peuvent être réparties plus efficacement au sein d'une équipe.

- **Aide**

Un framework est souvent accompagné d'une documentation et d'une communauté. Celles-ci permettent d'obtenir de l'aide lorsque l'équipe rencontre des difficultés. L'aide fournie dans l'équipe ne peut rivaliser avec celle fournie par une communauté.

Lors du développement d'ErasMail, nous avons choisi de scinder le client et le serveur en deux entités indépendantes. D'une part cela permet de mieux séparer les

---

6. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Framework>

responsabilités et d'autre part d'avoir un code plus simple à lire et à comprendre. Nous avons dû choisir un framework pour le client et un autre pour le serveur de manière indépendante. Avec cette démarche, nous n'avons pas dû de faire des compromis entre le framework du client et celui du serveur.

Pour choisir les frameworks, nous avons listé plusieurs critères que nous jugeons utiles :

A. Qualité de la documentation et la taille de la communauté

La qualité de la documentation et de la taille de la communauté vont de pair. En effet, une bonne documentation associée à une grande communauté permet aux développeurs débutants de prendre en main rapidement un framework et d'obtenir une réponse rapidement aux bugs ou autres difficultés qui peuvent survenir lors du développement du logiciel.

B. Langage de programmation

Nous devons évaluer notre connaissance du langage pour ne pas rajouter une couche de difficulté supplémentaire. Notez que nous avons évalué notre expertise dans les langages avant d'entamer le développement d'ErasMail.

C. Maintenabilité du projet

Un projet pouvant être mis à jour facilement est plus susceptible de perdurer et d'avoir fréquemment des améliorations. Dans ce critère, nous mesurons la simplicité à mettre à jour le code, mais aussi l'aisance à rajouter une fonctionnalité au projet. Un framework peut impacter la maintenabilité à cause de ses caractéristiques intrinsèques (structure du projet, le nombre de fichiers à modifier, etc.), il est alors utile de réfléchir à ce critère en amont.

D. Pérennité

Au plus un framework est resté populaire au fil des années, au plus il a de chance de rester populaire dans le futur. Dans le cadre d'un projet open-source comme la nôtre, ce critère est également intéressant pour faire croître la communauté. En règle générale, il y a plus de développeurs qui maîtrisent les frameworks populaires avec une certaine maturité.

E. Performance

La performance est caractérisée par le temps d'exécution d'une certaine tâche. Certains frameworks possèdent des optimisations pour des tâches couramment exécutées (ex. sauvegarde dans une base de données, affichage de page, etc.). La performance d'un framework est essentiellement caractérisée par les technologies utilisées.

## 5.2.1 Framework pour le client

Parmi tous les frameworks existants, il y en a trois qui se démarquent : Angular, React et Vue.js. Ces frameworks sont de bonne qualité et largement utilisés par de grandes entreprises. Ils utilisent tous les trois JavaScript. Étant donné que nous n'avons pas beaucoup d'expérience en JavaScript, nous avons basé notre choix sur leurs courbes d'apprentissage. Comme la figure 5.2 le montre, Vue.js semble être le framework le plus facile à prendre en main. Notre choix s'est donc porté sur Vue.js. De nombreux sites web populaires sont développés avec ce framework : 9GAG, Gitlab, Behance, Nintendo, etc.

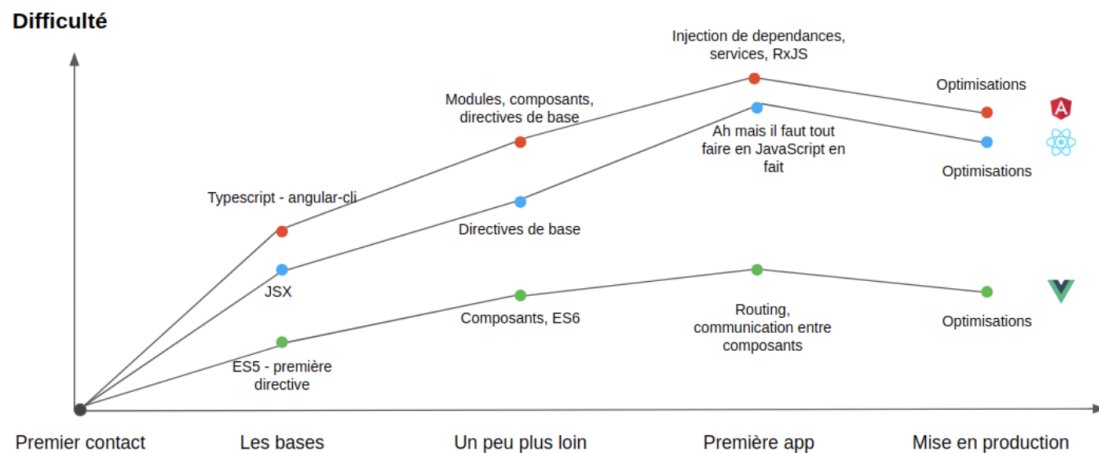


FIGURE 5.2 – Comparaison des courbes d'apprentissage d'Angular, React et Vue.js (dyma<sup>7</sup>).

## 5.2.2 Framework pour le serveur

En ce qui concerne le framework du serveur, la décision a été plus simple à prendre. Grâce à notre expertise en python, nous nous sommes dirigés vers les frameworks dans ce langage. Dans cette catégorie, Django et Flask sont deux frameworks sont très largement utilisés par de grandes entreprises informatiques. C'est sur le critère de la maintenabilité du projet qu'ils se différencient. Pour des projets de grande taille, Django est recommandé par la communauté des développeurs, car il offre une structure claire au projet<sup>8</sup>. Notre choix s'est porté sur Django. De nombreux sites web populaires sont mis en œuvre avec ce framework : Instagram, Spotify, BitBucket, Pinterest, etc.

7. <https://blog.dyma.fr/quel-framework-choisir-en-2020-angular-vue-js-ou-react/>

8. <https://easypartner.fr/blog/flask-vs-django/>

## 5.3 Déploiement

Une étape importante lors du développement d'un site web est le déploiement. C'est à ce stade que le site web sera accessible aux citoyens via un lien URL. Parmi toutes les méthodes de déploiement, nous avons choisi d'utiliser docker et une machine virtuelle.

Une machine virtuelle (abr. VM) est un environnement virtuel qui donne l'illusion d'une machine physique (ordinateur, serveur, etc.). Elle fonctionne avec un processeur, une mémoire, une interface réseau et un espace de stockage qui lui sont propres. Une VM est isolée du reste du système informatique et plusieurs machines virtuelles peuvent coexister sur une seule machine physique.<sup>9</sup> L'objectif des VMs est de découpler le système d'exploitation (l'environnement virtuel) de la machine physique. Dans le cadre de notre mémoire, nous utilisons une machine virtuelle pour héberger notre site web, celui-ci peut être accédé par un lien URL qui lui est propre. Le département INGI de l'école polytechnique de Louvain (UCLouvain) a mis à notre disposition une machine virtuelle, elle est accessible depuis le lien : <https://tfe-imap.info.ucl.ac.be>.

Docker est une technologie de conteneurisation qui permet la création et l'utilisation de conteneurs Linux. Elle permet de considérer les conteneurs comme des machines virtuelles très légères et modulaires. Les technologies de conteneurisation permettent de découpler une application (ex. un site web) du système d'exploitation de la machine (physique ou virtuelle) qui l'héberge, elles offrent donc une grande flexibilité.<sup>10</sup> Dans notre cas, nous pouvons déployer rapidement ErasMail sans nous soucier de l'environnement de la machine virtuelle.

Nous avons subdivisé ErasMail en 3 images :

- `erasmail_nginx`<sup>11</sup> pour le client
- `erasmail_web`<sup>12</sup> pour le serveur
- `postgres`<sup>13</sup> pour notre base de données.

Docker fournit un outil (appelé Compose) permettant de définir et d'exécuter des applications Docker multi-conteneurs<sup>14</sup>. Grâce à cet outil, nous devons uniquement définir les configurations d'ErasMail dans un fichier spécifique<sup>15</sup> pour le déployer.

---

9. <https://www.redhat.com/fr/topics/virtualization/what-is-a-virtual-machine>

10. <https://www.redhat.com/fr/topics/containers/what-is-docker>

11. [https://hub.docker.com/r/edgargevorgyan/erasmail\\_nginx](https://hub.docker.com/r/edgargevorgyan/erasmail_nginx)

12. [https://hub.docker.com/r/edgargevorgyan/erasmail\\_web](https://hub.docker.com/r/edgargevorgyan/erasmail_web)

13. [https://hub.docker.com/\\_/postgres](https://hub.docker.com/_/postgres)

14. <https://docs.docker.com/compose/>

15. <https://github.com/SamirM-BE/ErasMail/blob/main/docker-compose.prod.yml>

# Chapitre 6

## Évaluation

Dans ce chapitre, nous essayerons d'avoir un regard critique sur notre logiciel, ErasMail. Le but sera de vérifier qu'ErasMail remplit bien les objectifs décrits au chapitre 1. Pour rappel, les objectifs étaient :

1. Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails.
2. Proposer des actions pour agir sur les emails.
3. Inciter à l'utilisation d'ErasMail.

Nous avons conduit une étude d'utilisabilité afin d'évaluer notre logiciel. Pour ce faire, nous avons choisi un panel de 8 personnes aux profils variés. Nous les avons accompagnés durant toute l'expérience ErasMail. Tout d'abord, nous avons demandé à ces personnes d'utiliser ErasMail sans aucune instruction supplémentaire afin de ne pas les influencer. Par la suite, nous leur avons fourni un questionnaire auquel elles devaient répondre le plus honnêtement possible. Grâce à ce dernier, nous pourrions évaluer la contribution d'ErasMail. Lors de cette phase d'évaluation et uniquement pendant celle-ci, nous avons récolté quelques données sur nos utilisateurs (avec leur accord) pour vous présenter quelques statistiques sur notre logiciel.

Les personnes choisies pour l'évaluation de notre site ont été sélectionnées auprès de notre entourage de sorte à varier au maximum les profils. Parmi eux, nous pouvons trouver :

- 4 étudiants de l'UCLouvain (sciences informatiques, ingénieur civil, ingénieur de gestion, sciences politiques) qui ont 25 ans ou moins.
- une secrétaire qui a entre 26 ans et 40 ans.
- un développeur web de 25 ans ou moins.
- un recruteur (RH) qui a entre 26 ans et 40 ans.
- un vendeur qui a entre 41 ans et 60 ans.

Nos résultats montrent que 75% des personnes sélectionnées utilisent les emails au moins une fois par semaine. Dès lors, notre échantillon d'utilisateurs est susceptible de trouver facilement des emails qui sont devenus obsolètes grâce à ErasMail.

## 6.1 Composition du panel de testeurs

Avant de vous présenter le questionnaire, examinons les statistiques que nous avons pu récolter lors de la phase d'évaluation. Notez que ces données sont à interpréter avec précaution pour les raisons suivantes :

- notre échantillon d'utilisateurs est très faible<sup>1</sup>
- le temps que les utilisateurs nous ont accordé pour l'évaluation était d'environ 30 min

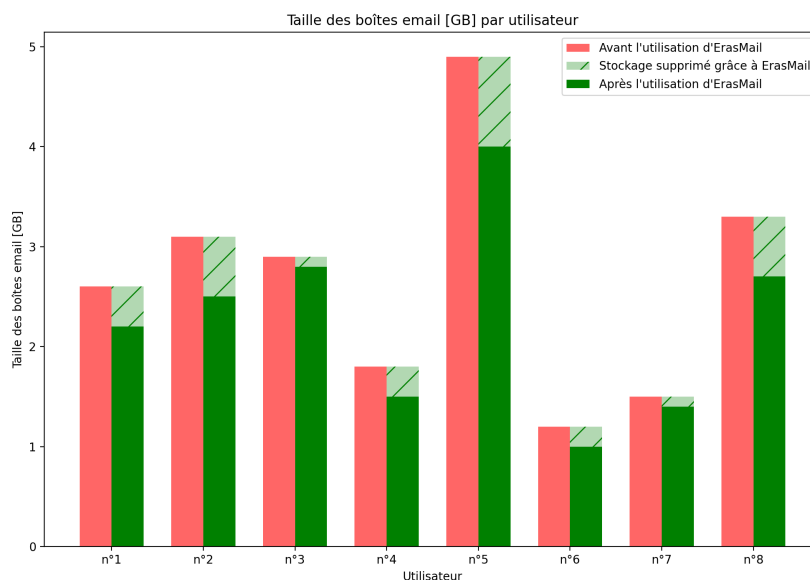


FIGURE 6.1 – La taille des boîtes email de nos testeurs avant et après l'utilisation d'ErasMail

La figure 6.1 montre l'évolution des boîtes email de nos testeurs avant et après l'usage d'ErasMail. Il y a effectivement une diminution de la taille des boîtes email, en moyenne, elle est d'environ 14,3% (tableau 6.1). Une très grande boîte email (ex. 5 GB) sera susceptible de subir une diminution plus importante qu'une petite boîte email (ex. 1GB). Cela s'explique par le fait qu'au plus une boîte email est

1. Pour cause de COVID-19, nous n'avons pas pu mobiliser plus de personnes.

volumineuse, au plus elle est susceptible de contenir d'anciens emails devenus inutiles. Puisque l'écart-type est relativement significatif par rapport à la moyenne, nous pouvons espérer que le taux de réduction de la taille des boîtes email se verra à la hausse avec la gamification d'ErasMail et avec plus de temps que celui prévu pour l'évaluation ( $\pm 30$  min).

	Taux de réduction de la boîte email
moyenne	0,143
médiane	0,167
écart-type	0,055

TABLE 6.1 – Statiques sur le taux de réduction de la taille des boîtes email en utilisant ErasMail

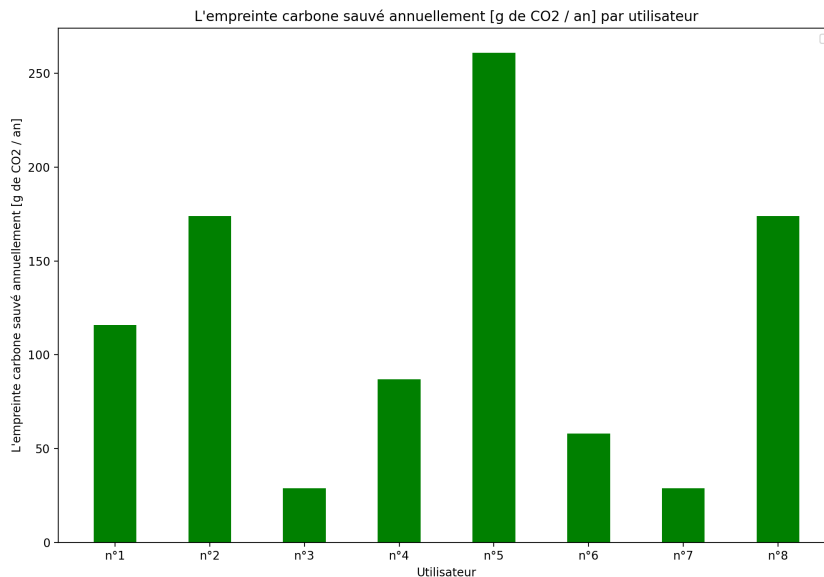


FIGURE 6.2 – L'empreinte carbone sauvée annuellement par nos utilisateurs après l'utilisation d'ErasMail<sup>2</sup>

La figure 6.2 indique l'empreinte carbone sauvée annuellement par nos testeurs. En moyenne, cette valeur est au alentour de 116 g de CO<sub>2</sub> par an (tableau 6.2). À l'instar du taux de réduction de la taille des boîtes email, cette variable a un écart-type assez grand par rapport à sa moyenne, dès lors, celle-ci pourrait augmenter

2. Ces valeurs ne prennent pas en compte l'empreinte carbone sauvée grâce aux emails que nous évitons de recevoir en nous désabonnant des newsletters.

avec une utilisation plus longue d'ErasMail. Notez que l'empreinte carbone sauvée annuellement a été prédite grâce à notre modèle détaillé au chapitre 3.

	Empreinte carbone sauvé par an [g de CO <sub>2</sub> / an]
moyenne	116
médiane	101,5
écart-type	76,7

TABLE 6.2 – Statistiques sur l'empreinte carbone sauvée par an

Malgré que notre échantillon soit petit, nous avons quand même réussi à extraire des statistiques intéressantes. En l'occurrence, nous pouvons déduire qu'un utilisateur, après sa première connexion sur ErasMail, réduira la taille de sa boîte email de 14,3% et aura sauvé 116 g de CO<sub>2</sub> par an avec ses emails supprimés.

## 6.2 Questionnaire

Nous avons réalisé un questionnaire afin de vérifier qu'ErasMail remplit effectivement ses objectifs du point de vue de ses utilisateurs. Ce questionnaire était divisé en 4 sections. La première permettait de déterminer le profil du répondant et les 3 autres sections permettaient d'évaluer les 3 objectifs d'ErasMail. Dans la suite de cette section, nous présenterons un condensé de l'étude complète en annexe A.

### 6.2.1 Sensibiliser

Le premier objectif à évaluer est la mise en évidence quantitative des impacts environnementaux du stockage des emails.

Dans notre première enquête (chapitre 1), nous avons déterminé que les citoyens éprouvaient des difficultés à cerner les ordres de grandeur et qu'ils ne comprenaient pas ce que représentaient les unités scientifiques utilisées pour quantifier la pollution. Nous avons décidé d'accompagner les valeurs brutes utilisées avec des comparaisons avec des objets du quotidien (fabrication de sacs en plastique, distance conduite par une voiture, etc.). Nos résultats montrent que tous répondants ont mieux compris l'impact de la pollution exprimée en notation scientifique (g de CO<sub>2</sub>) grâce aux comparaisons.

De plus, 62,5% des testeurs ont une meilleure compréhension de l'empreinte carbone de leurs boîtes email qu'avant l'utilisation d'ErasMail (figure 6.3). Nous pouvons déduire qu'ErasMail a réussi son premier objectif, sensibiliser ses utilisateurs sur l'impact écologique du stockage des emails.

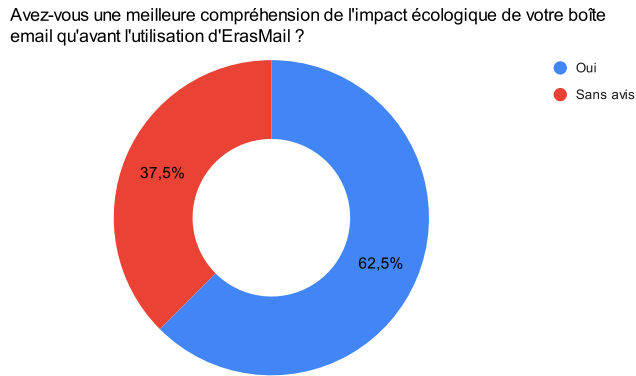


FIGURE 6.3 – 62,5% des testeurs ont une meilleure compréhension de l’empreinte carbone de leurs boîtes email qu’avant l’utilisation d’ErasMail

### 6.2.2 Permettre d’agir

Le deuxième objectif à évaluer est l’aptitude d’ErasMail à proposer des actions pour agir sur les emails de ses utilisateurs.

Dans notre enquête initiale (chapitre 1), nous avons vu que la population ne sait pas agir efficacement pour réduire l’impact écologique de leur boîte email. Pour rappel, uniquement 34,3% des répondants pensaient que les pièces jointes sont une source de pollution importante. Pour résoudre ce problème, ErasMail implémente une multitude d’indicateurs (voir chapitre 4) pour aider ses utilisateurs à cibler efficacement les emails les plus polluants. La figure 6.4 montre que tous les citoyens ont réussi à facilement trouver les emails les plus polluants.

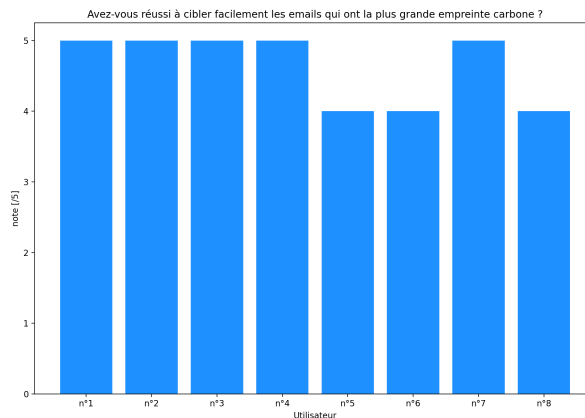


FIGURE 6.4 – Tous les utilisateurs ont réussi à facilement trouver les emails les plus polluants grâce à ErasMail

Un autre objectif que nous nous sommes fixé était de rendre ErasMail le plus user-friendly possible. La figure 6.5 montre que tous les utilisateurs ont pu facilement prendre en main notre logiciel.

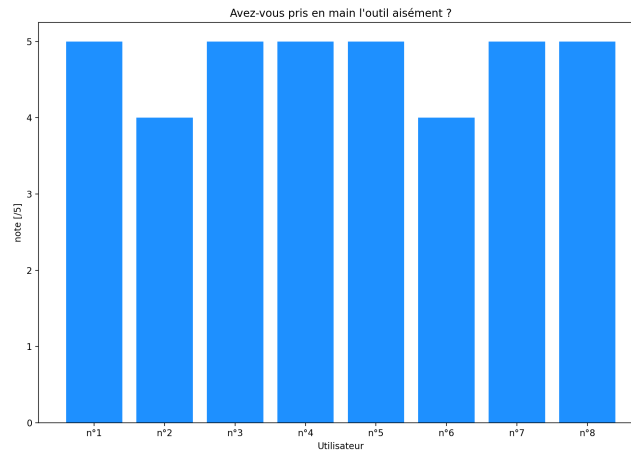


FIGURE 6.5 – Tous les utilisateurs ont eu facile à prendre en main l’outil. L’utilisation d’ErasMail est intuitive

Nous pouvons déduire qu’ErasMail a rempli son deuxième objectif en offrant une interface intuitive et en aidant ses utilisateurs à agir efficacement sur l’impact environnemental de leurs boîtes email.

### 6.2.3 Inciter

Pour inciter ses utilisateurs, notre logiciel implémente un système de gamification et permet de partager ses résultats sur les réseaux sociaux. À notre échelle, nous n’avons pas pu réaliser des tests sur l’aspect social d’ErasMail (partage sur les réseaux sociaux). Pour ces tests, il aurait fallu 2 groupes d’utilisateurs : l’un ayant une version gamifiée d’ErasMail et l’autre une version sans système de gamification. De plus, il aurait fallu un nombre d’utilisateurs plus considérable pour que cet effet ait un impact non négligeable. Toutefois, nous sommes en mesure d’évaluer l’aspect ludique d’ErasMail.

Dans notre première enquête (chapitre 1), nous avons mis en évidence que près de la moitié des répondants nettoient leurs boîtes email au moins une fois par mois et l’autre moitié au plus une fois par an. Sur base de ce résultat, nous avons décidé d’implémenter un système de gamification afin de motiver extrinsèquement les utilisateurs.

Nos résultats montrent qu'au moins la moitié des testeurs ont supprimé un ou plusieurs emails pour au moins l'une des raisons suivantes :

- débloquer un succès
- faire évoluer leur badge
- montrer dans le classement

Avez-vous découvert des fonctionnalités en essayant de débloquer des « succès » ?

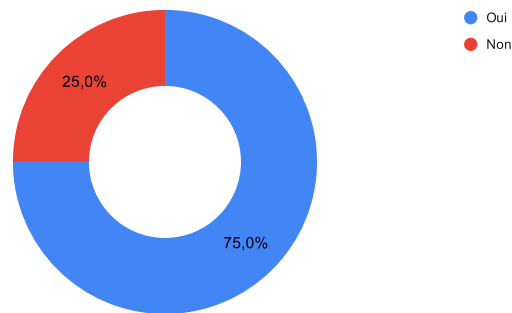


FIGURE 6.6 – 75% des répondants ont découvert une ou plusieurs fonctionnalités en essayant de débloquer des « succès »

Dans le chapitre 2, nous avons appris que les badges (dans notre cas les succès) permettaient aux utilisateurs d'apprendre de nouvelles fonctionnalités du logiciel qu'ils n'auraient peut-être pas découverts sans aide extérieure. Cette affirmation est renforcée par la figure 6.6, 75% des testeurs ont découvert une ou plusieurs fonctionnalités par le biais des succès.

La figure 6.7 indique que 87,5% des participants ont envie de réutiliser ErasMail après leur première expérience. Nous pouvons donc déduire que le troisième objectif est également atteint, notre logiciel a réussi à insister les testeurs à l'utiliser.

Avez-vous envie de revenir sur ErasMail après votre première visite ?

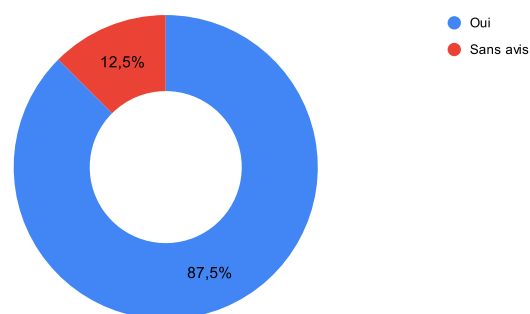


FIGURE 6.7 – 87,5% des utilisateurs ont envie de réutiliser notre logiciel après leur première expérience

## 6.2.4 Conclusion

Sur base de cette évaluation, nous pouvons conclure qu'ErasMail a atteint tous les objectifs fixés préalablement : sensibiliser, permettre d'agir et inciter l'utilisation d'ErasMail. De plus, la figure 6.8 montre que tous les testeurs sont susceptibles d'utiliser régulièrement un outil similaire à ErasMail s'il était disponible.

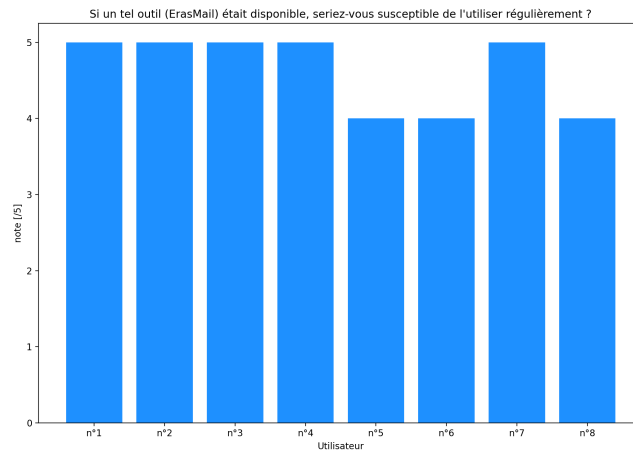


FIGURE 6.8 – Tous les utilisateurs sont susceptibles d'utiliser fréquemment un outil comme ErasMail si celui-ci est disponible

# Chapitre 7

## Conclusion

Ce mémoire avait pour ambition d'aider les citoyens à évaluer et à réduire l'impact environnemental de leurs courriels dans le cloud, notamment en les sensibilisant à la pollution générée par le stockage des emails ainsi qu'en leur permettant d'agir sur leur boîte email pour contribuer à la réduction de cette pollution.

Pour satisfaire cette ambition, nous avons imaginé la création d'un logiciel qui permettait de :

1. Mettre en évidence quantitativement les impacts environnementaux du stockage des emails.
2. Proposer des actions pour agir sur les emails.
3. Inciter à l'utilisation d'ErasMail.

L'étude d'utilisabilité décrite au chapitre précédent semble montrer qu'ErasMail, le logiciel que nous avons créé, pour résoudre cette problématique, semble satisfaire les objectifs que nous nous étions fixés. En moyenne nos testeurs ont pu réduire la taille de leur boîte email de 14,3%. Nous sommes pleinement satisfaits des résultats que nous avons obtenus.

Bien qu'ErasMail soit un logiciel prototype réalisé au cours d'un mémoire, nous sommes profondément convaincus que même à ce stade, il peut avoir un impact majeur. Au-delà, de sa capacité à nettoyer une boîte email, tous nos testeurs nous ont fait part de la prise de conscience qu'ErasMail leur a permis d'avoir, nous pensons que cette prise de conscience peut être reproduite à grande échelle. Notre solution est une première version fonctionnelle, plusieurs améliorations sont envisageables pour une deuxième version. Voici une liste non exhaustive d'améliorations possibles :

- Ajouter un système de recommandation pour suggérer la suppression d'emails qui sont probablement inutiles en fonction des goûts de l'utilisateur.

- Classifier les emails inutiles dans des catégories (ex. Rappel, Rendez-vous, Confirmation, Mise à jour, etc.) avec un modèle de machine learning.
- Améliorer l'aspect réactif d'ErasMail pour être compatible sur tout type d'appareils (ordinateur, tablette, téléphone mobile).

À travers le modèle que nous avons créé pour évaluer l'impact environnemental du stockage des emails, ce mémoire montre que d'autres solutions plus efficaces pour réduire la pollution pourraient exister. Nous espérons avoir contribué à ce sens à l'exploration de pistes plus efficaces telles que la fabrication d'équipements informatique plus écologique.

Depuis le début, notre unique ambition n'a été que purement écologique, notre but a toujours été d'avoir le plus grand impact environnemental possible. Nous espérons qu'en faisant d'ErasMail, un logiciel open-source, une communauté se créera autour de celui-ci afin de l'améliorer au fil des années pour maximiser cet impact. C'est pour cette raison que notre solution a été créé avec les technologies les plus populaires du moment, dans le but de faciliter son amélioration et sa pérennité.

Enfin, c'est avec un sentiment de satisfaction que nous clôturons notre mémoire. ErasMail est accessible avec le lien : <https://tfe-imap.info.ucl.ac.be> et le code source est disponible sur GitHub : <https://github.com/SamirM-BE/ErasMail>.

# Bibliographie

- [1] Albert Bandura. Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. Educational psychologist, 28(2) :117–148, 1993.
- [2] Brett Battles, Cathy Belleville, Susan Grabau, and Judith Maurier. Reducing data center power consumption through efficient storage. Google Scholar, 2007.
- [3] Mike Berners-Lee. How bad are bananas ? : the carbon footprint of everything. Profile Books, 2020.
- [4] Brian Burke. Maverick research : Motivation, momentum and meaning : How gamification can inspire engagement. Gartner Inc.(October), 2011.
- [5] Carlos Colman-Meixner, Chris Develder, Massimo Tornatore, and Biswanath Mukherjee. A survey on resiliency techniques in cloud computing infrastructures and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3) :2244–2281, 2016.
- [6] Sebastian Deterding, Rilla Khaled, Lennart E Nacke, Dan Dixon, et al. Gamification : Toward a definition. In CHI 2011 gamification workshop proceedings, volume 12, pages 1–79. Vancouver BC, Canada, 2011.
- [7] Laura Farrant and Yannick Le Guern. Which environmental impacts for ict ?-lca case study on electronic mail. In 2012 Electronics Goes Green 2012+, pages 1–5. IEEE, 2012.
- [8] Fabien Fenouillet. Les théories de la motivation-2e éd. Dunod, 2016.
- [9] Leon Festinger. A theory of social comparison processes. Human relations, 7(2) :117–140, 1954.
- [10] Juho Hamari. Do badges increase user activity? a field experiment on the effects of gamification. Computers in human behavior, 71 :469–478, 2017.
- [11] Juho Hamari and Jonna Koivisto. Social motivations to use gamification : an empirical study of gamifying exercise. In ECIS, 2013.
- [12] Kai Huotari and Juho Hamari. Defining gamification : a service marketing perspective. In Proceeding of the 16th international academic MindTrek conference, pages 17–22, 2012.

- [13] Google Inc. Google's green computing : Efficiency at scale. 2011.
- [14] Atreyi Kankanhalli, Mahdiah Taher, Huseyin Cavusoglu, and Seung Hyun Kim. Gamification : A new paradigm for online user engagement. In International Conference on Information Systems, ICIS 2012, International Conference on Information Systems, ICIS 2012, pages 3573–3582, 2012.
- [15] Richard N Landers, Kristina N Bauer, and Rachel C Callan. Gamification of task performance with leaderboards : A goal setting experiment. Computers in Human Behavior, 71 :508–515, 2017.
- [16] E Masanet, A Shehabi, L Ramakrishnan, J Liang, X Ma, B Walker, and P Mantha. The energy efficiency potential of cloud-based software : a us case study lbnl-6298e, 2013.
- [17] Eric R Masanet, Richard E Brown, Arman Shehabi, Jonathan G Koomey, and Bruce Nordman. Estimating the energy use and efficiency potential of us data centers. Proceedings of the IEEE, 99(8) :1440–1453, 2011.
- [18] Arman Shehabi, Sarah Smith, Dale Sartor, Richard Brown, Magnus Herrlin, Jonathan Koomey, Eric Masanet, Nathaniel Horner, Inês Azevedo, and William Lintner. United states data center energy usage report. 2016.
- [19] Laura Farrant Yannick Le Guern. Analyse comparée des impacts environnementaux dela communication par voie électronique. Technical report, ADEME, BIO Intelligence Service, 2011.

# Annexe A

## Questionnaire pour l'évaluation

Afin de vérifier qu'ErasMail rempli effectivement tous ses objectifs, nous avons sélectionnés des utilisateurs au hasard. Après leur première expérience avec Eras-Mail, nous leur avons demandé de remplir un questionnaire. Dans cette annexe, nous présentons les résultats de ce questionnaire.

### A.1 Profil utilisateur

Quel est votre âge ?

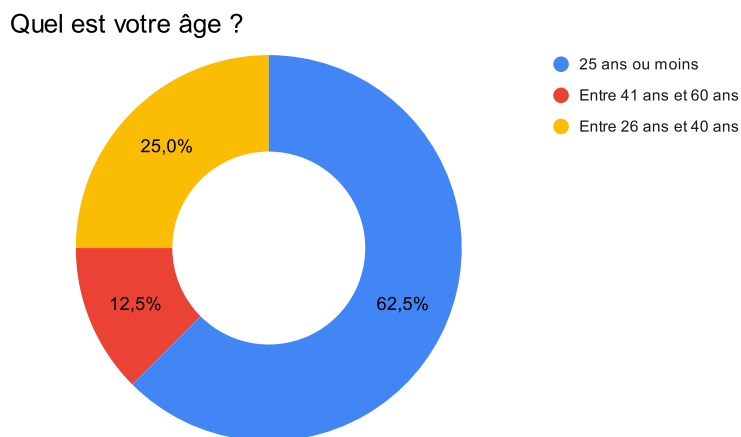


FIGURE A.1

## Vous avez un métier plutôt ? (Si étudiant(e), alors le métier le plus en lien avec vos études)

Vous avez un métier plutôt ? (Si étudiant(e), alors le métier le plus en lien avec vos études)

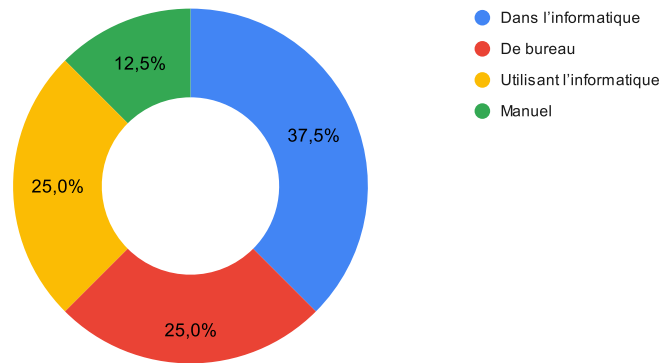


FIGURE A.2

## A quelle fréquence utilisez-vous les emails ?

A quelle fréquence utilisez-vous les emails ?

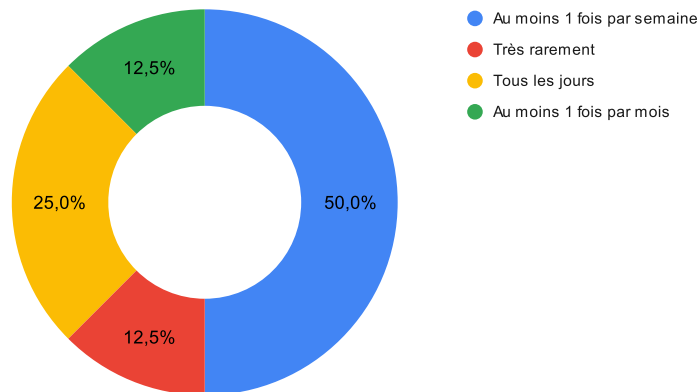


FIGURE A.3

## A.2 Prise de conscience

**Avez-vous une meilleure compréhension de l'impact écologique de votre boîte email qu'avant l'utilisation d'ErasMail ?**

Avez-vous une meilleure compréhension de l'impact écologique de votre boîte email qu'avant l'utilisation d'ErasMail ?

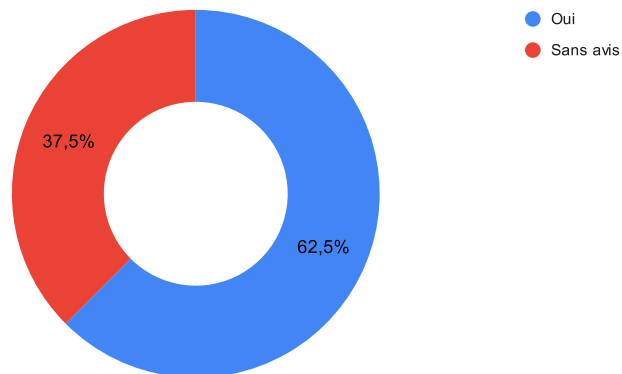


FIGURE A.4

**Les comparaisons avec les objets du quotidien vous aident-elles à mieux comprendre les valeurs brutes (CO<sub>2</sub>), notamment les ordres de grandeur ?**

Les comparaisons avec les objets du quotidien vous aident-elles à mieux comprendre les valeurs brutes (CO<sub>2</sub>), notamment les ordres de grandeur ?

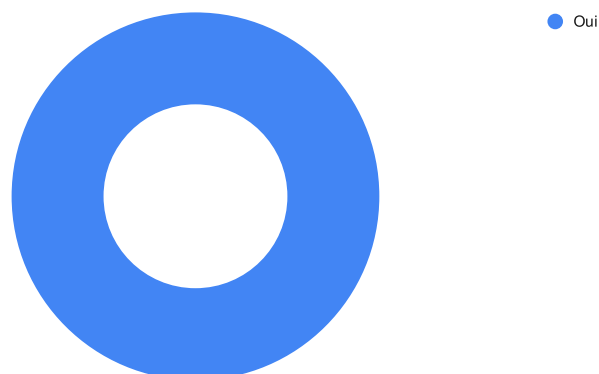


FIGURE A.5

Dorénavant, êtes-vous susceptible de faire attention avant d'envoyer un email ? (ex : limiter le nombre de destinataires, compresser les pièces jointes, ...) ?

Dorénavant, êtes-vous susceptible de faire attention avant d'envoyer un email ?  
(ex : limiter le nombre de destinataires, compresser les pièces jointes, ...) ?

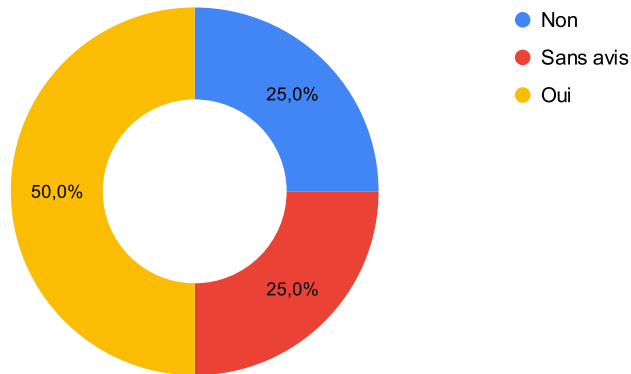


FIGURE A.6

### A.3 Permettre d'agir

Avez-vous pris en main l'outil aisément ?

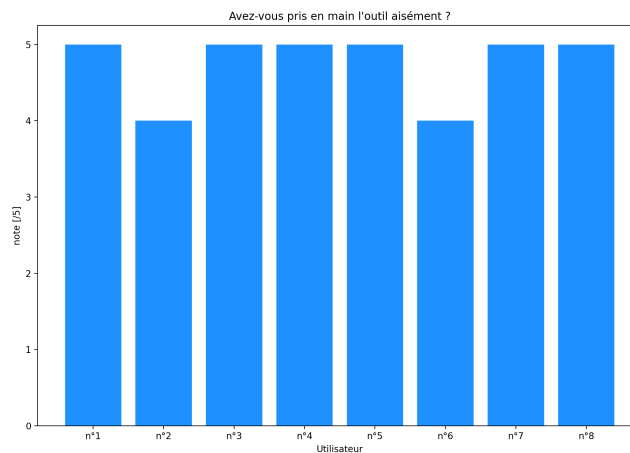


FIGURE A.7

**Avez-vous compris facilement le rôle de toutes les fonctionnalités principales ?**

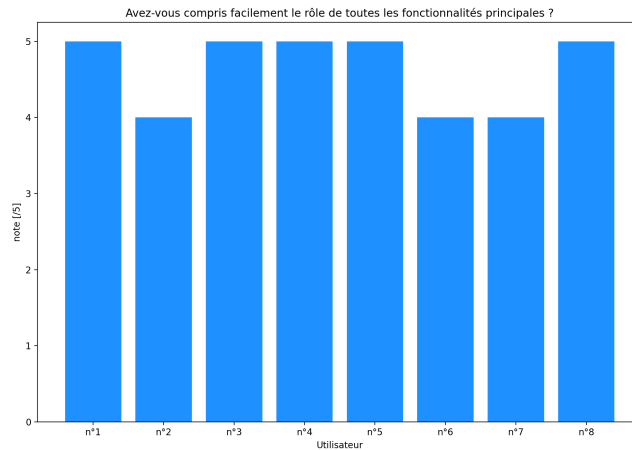


FIGURE A.8

**Avez-vous réussi à cibler facilement les emails qui ont la plus grande empreinte carbone ?**

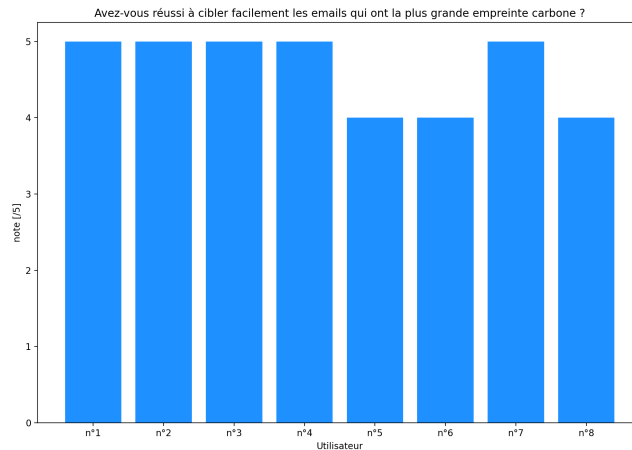


FIGURE A.9

**Si vous deviez citer un point fort d'ErasMail, ce serait ?**

- Interface intuitive.
- Compréhension facile de la pollution.

**Si vous deviez citer un point faible d'ErasMail, ce serait ?**

- Le temps d'attente lors de la connexion.
- L'aspect visuel peut être amélioré.

**Qu'est-ce qu'il manque à ErasMail pour qu'il ne soit plus un prototype (fonctionnalités) ?**

- Une barre de recherche pour les sujets des emails.
- La possibilité de trier selon plusieurs ordres les conversations.
- Partager des images sur les réseaux sociaux.

## **A.4 Inciter**

**Avez-vous envie de revenir sur ErasMail après votre première visite ?**

Avez-vous envie de revenir sur ErasMail après votre première visite ?

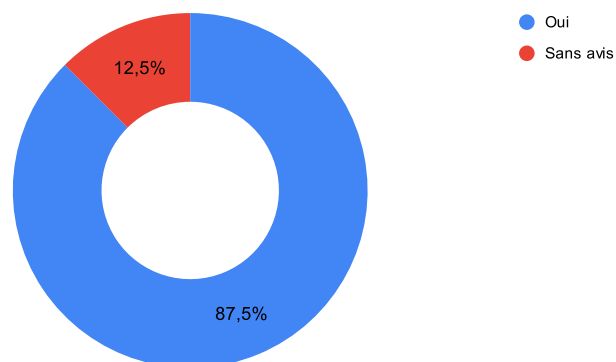


FIGURE A.10

## Avez-vous supprimé des emails dans l'unique but de réduire votre empreinte carbone ?

Avez-vous supprimé des emails dans l'unique but de réduire votre empreinte carbone ?

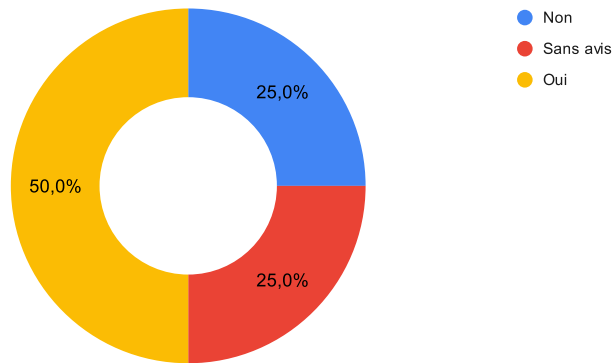


FIGURE A.11

## Avez-vous découvert des fonctionnalités en essayant de débloquer des « succès » ?

Avez-vous découvert des fonctionnalités en essayant de débloquer des « succès » ?

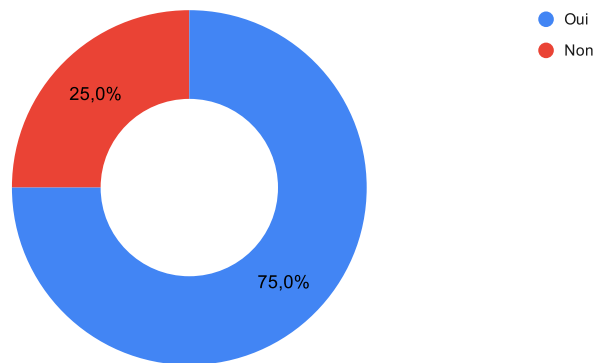


FIGURE A.12

## Êtes-vous motivé à réaliser des tâches pour débloquer des « succès » ?

Êtes-vous motivé à réaliser des tâches pour débloquer des « succès » ?

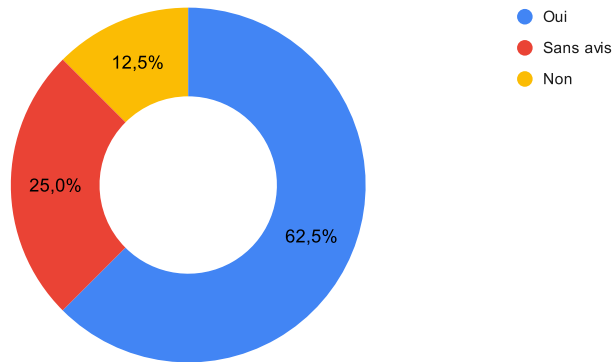


FIGURE A.13

## Êtes-vous motivé à supprimer des emails pour faire évoluer votre badge ?

Êtes-vous motivé à supprimer des emails pour faire évoluer votre badge ?

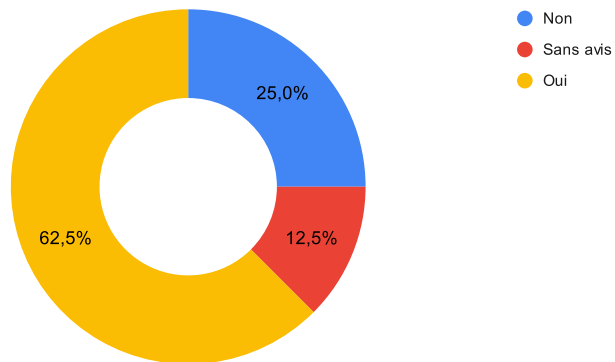


FIGURE A.14

## Êtes-vous motivé à réaliser des tâches pour augmenter votre classement ?

Êtes-vous motivé à réaliser des tâches pour augmenter votre classement ?

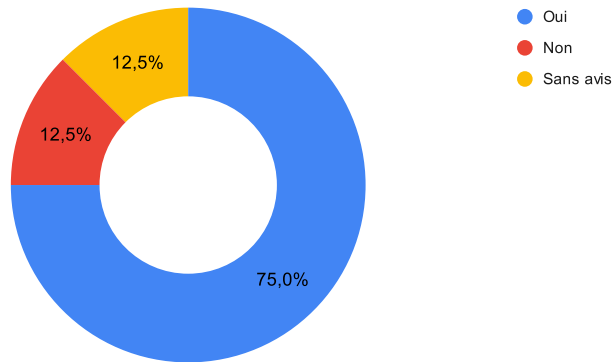


FIGURE A.15

## Si un tel outil (ErasMail) était disponible, seriez-vous susceptible de l'utiliser régulièrement ?

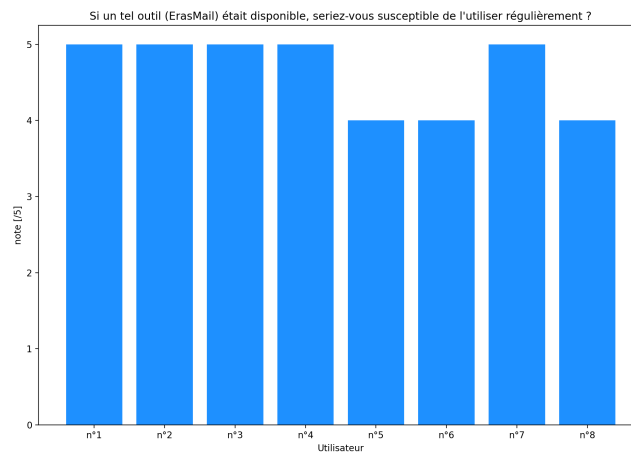


FIGURE A.16

# Annexe B

## Code source d'ErasMail

Le code source est disponible sur GitHub : <https://github.com/SamirM-BE/ErasMail>

**UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN**  
École polytechnique de Louvain

Rue Archimède, 1 bte L6.11.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | [www.uclouvain.be/epl](http://www.uclouvain.be/epl)