

## Faculté Polytechnique



### Vers un numérique responsable pour son organisation

Un guide pour comprendre, mesurer et réduire les impacts environnementaux du numérique

Travail de fin d'étude (TFE)

Rodrigue DEGHORAIN  
Master Ingénieur Civil en Informatique et Gestion



Sous la direction de :  
Monsieur le Professeur Sébastien BETTE (promoteur)  
Monsieur Loann ASTORINO, (copromoteur)  
Juin 2025

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Sébastien Bette, promoteur de ce travail, pour son accompagnement tout au long de ce mémoire. De la formulation de la problématique à la rédaction finale, son suivi attentif, ses remarques stimulantes et ses nombreux échanges ont permis de faire évoluer cette recherche vers un niveau de réflexion solide et abouti. Merci également pour sa disponibilité et la qualité des discussions (y compris les mémorables vocaux).

Je tiens également à remercier mon copromoteur, Loann Astorino, pour son accompagnement, pour ses conseils réfléchis et posés et pour la complémentarité de ses réflexions avec Mr. Bette.

Je remercie toutes les personnes rencontrées et sollicitées au fil de cette recherche pour leurs échanges, leurs retours d'expérience et leurs partages de terrain. C'est aussi grâce à ces discussions que ce travail a pu prendre forme de manière aussi concrète et ancrée dans les réalités actuelles.

Enfin, une pensée toute particulière pour ma copine, Manon, pour sa présence constante, son soutien sans faille et sa patience à toute épreuve durant ces mois d'intense réflexion. Merci pour ta confiance, ton écoute, et ton soutien inconditionnel.

# Résumé

Au regard de l'état biogéophysique actuel du système Terre, des dommages causés par les activités humaines à l'environnement et du constat alarmant du dépassement de plusieurs limites planétaires, ce mémoire s'intéresse aux impacts environnementaux du numérique qui occupe une place centrale dans notre société et exerce des pressions croissantes sur les écosystèmes. Face à cette réalité, la question de la responsabilité des organisations, actrices majeures du numérique, tant comme fournisseuses que comme utilisatrices de services IT, devient essentielle. Il leur revient de comprendre, de mesurer et de réduire les pressions environnementales générées par leurs activités numériques.

Agir efficacement suppose d'identifier précisément l'ampleur des impacts environnementaux du numérique et les postes les plus critiques au sein des organisations. Cela nécessite une évaluation rigoureuse, adaptée aux spécificités du secteur numérique, et tenant compte des enjeux planétaires actuels. Ce travail explore ainsi comment les organisations peuvent s'approprier des méthodes d'évaluation pertinentes pour comprendre l'impact de leurs activités numériques et engager des actions concrètes en faveur de leur réduction durable.

Pour explorer ces pistes, nous avons mobilisé une méthode fondée sur l'analyse du cycle de vie (ACV), permettant de couvrir l'ensemble des phases de vie des services numériques. Cette méthode est enrichie d'une approche multicritère, afin de prendre en compte la diversité des impacts environnementaux (climat, ressources, toxicité, biodiversité, etc.). Elle s'appuie sur le référentiel O-LCA (*Organizational Life Cycle Assessment*), développé sous l'impulsion des Nations Unies, visant à structurer l'évaluation environnementale des organisations de manière globale et orientée amélioration continue.

L'O-LCA n'ayant pas encore été appliqué au secteur numérique dans la littérature, une étude de cas a été menée afin d'expérimenter concrètement cette méthode dans un contexte numérique. Cette application a permis de dégager des enseignements extrapolables sur les points de vigilance et les principaux freins à anticiper, afin d'aider les organisations à mieux comprendre les enjeux d'une telle démarche pour évaluer l'empreinte environnementale de leurs activités numériques.

Au-delà du diagnostic, ce mémoire propose également un éclairage sur les différentes composantes d'une évaluation environnementale, afin d'aider les organisations à mieux les comprendre et les articuler. Enfin, dans une logique de passage à l'action, un recueil d'actions concrètes, issues de la littérature, d'échanges avec des acteurs de terrain et des résultats de ce travail, a été élaboré. Ce recueil, en tant que support, a pour vocation d'inspirer les organisations dans le processus de concrétisation de leurs diagnostics en plans d'actions tangibles.

**Mot-clés :** Numérique responsable - Empreinte écologique - Analyse du cycle de vie - Impact environnemental - Organisation

# Table des matières

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                                                                                          | <b>1</b>  |
| <b>1 Enjeux planétaires, numériques et orientation du mémoire</b>                                            | <b>2</b>  |
| 1.1 Enjeux climatiques et limites planétaires . . . . .                                                      | 2         |
| 1.2 Le numérique dans le monde actuel . . . . .                                                              | 4         |
| 1.3 Le numérique responsable : comprendre les enjeux d'un usage soutenable du digital                        | 6         |
| 1.3.1 Constats clés sur les impacts du numérique . . . . .                                                   | 6         |
| 1.3.2 Définition et principes du numérique responsable . . . . .                                             | 7         |
| 1.3.3 Le rôle primordial des organisations . . . . .                                                         | 8         |
| 1.4 Problématique, objectifs et portée du mémoire . . . . .                                                  | 8         |
| 1.5 Méthodologie de travail et posture de recherche . . . . .                                                | 9         |
| 1.6 Plan du rapport . . . . .                                                                                | 12        |
| <b>2 Méthodes, référentiels et outils d'évaluation environnementale du numérique</b>                         | <b>13</b> |
| 2.1 Méthode multicritère-ACV . . . . .                                                                       | 14        |
| 2.1.1 Méthode ACV . . . . .                                                                                  | 14        |
| 2.1.2 Méthode multicritère . . . . .                                                                         | 16        |
| 2.1.3 Importance de la méthode <i>multicritère-ACV</i> . . . . .                                             | 16        |
| 2.2 Référentiels existants . . . . .                                                                         | 17        |
| 2.3 Le référentiel O-LCA . . . . .                                                                           | 20        |
| 2.4 Outils opérationnels pour la mise en œuvre d'une évaluation O-LCA . . . . .                              | 21        |
| <b>3 Mise en application de l'O-LCA</b>                                                                      | <b>24</b> |
| 3.1 Déroulement de l'O-LCA et retours d'expérience appliqués . . . . .                                       | 25        |
| I. Définition des objectifs et du champ d'étude . . . . .                                                    | 25        |
| II. Analyse de l'inventaire du cycle de vie . . . . .                                                        | 28        |
| III. Évaluation des impacts du cycle de vie . . . . .                                                        | 34        |
| IV. Interprétation des résultats . . . . .                                                                   | 37        |
| 3.2 Vue globale sur l'application de l'O-LCA dans le secteur du numérique . . . . .                          | 45        |
| 3.3 Au-delà de l'application de la méthode O-LCA . . . . .                                                   | 46        |
| <b>4 Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique</b> | <b>47</b> |
| 4.1 Réflexions suivies . . . . .                                                                             | 47        |
| 4.2 Diagramme de positionnement . . . . .                                                                    | 48        |
| <b>5 Analyse des actions et leviers d'amélioration</b>                                                       | <b>53</b> |
| 5.1 Méthodologie de structuration des actions proposées . . . . .                                            | 53        |
| 5.2 Tableau d'actions . . . . .                                                                              | 54        |
| <b>Conclusion</b>                                                                                            | <b>59</b> |

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bibliographie</b>                                                                | <b>62</b> |
| <b>Annexes</b>                                                                      | <b>67</b> |
| A    Présentation approfondie des outils d'évaluation environnementale du numérique | 67        |
| A.1    monacvnumerique.fr . . . . .                                                 | 67        |
| A.2    Outil maison sous Excel . . . . .                                            | 71        |
| A.3    NumEcoEval . . . . .                                                         | 73        |
| A.4    Logiciels d'ACV (OpenLCA, SimaPro, etc.) . . . . .                           | 75        |
| B    Cas d'étude . . . . .                                                          | 78        |
| B.1    Définition des objectifs et du champ d'étude (étape I) . . . . .             | 78        |
| B.2    Analyse de l'inventaire du cycle de vie (étape II) . . . . .                 | 82        |
| B.3    Évaluation des impacts du cycle de vie (étape III) . . . . .                 | 86        |
| B.4    Interprétation des résultats (étape IV) . . . . .                            | 88        |
| C    Vue globale du diagramme de positionnement . . . . .                           | 95        |

# Liste des tableaux

|     |                                                                                                 |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Comparaison des principaux référentiels <i>Multicritère</i> - <i>ACV</i> . . . . .              | 18 |
| 2.2 | Comparaison des outils opérationnels pour une évaluation O-LCA appliquée au numérique . . . . . | 23 |
| 5.1 | Actions pour un numérique responsable . . . . .                                                 | 55 |

# Table des figures

|      |                                                                                                                                                                                                           |    |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Impacts observés des risques climatiques sur l’humanité (MORA et al., 2018). . .                                                                                                                          | 3  |
| 1.2  | Représentation des limites planétaires (RICHARDSON et al., 2023) . . . . .                                                                                                                                | 4  |
| 1.3  | Schéma simplifié de la recherche-action (CLAUDE, 2020) . . . . .                                                                                                                                          | 10 |
| 3.1  | Exemple simplifié de niveaux de fournisseurs dans la chaîne de valeur pour un département IT type . . . . .                                                                                               | 27 |
| 3.2  | Questionnaire de l’outil monacvnumerique.fr complété pour une activité . . . . .                                                                                                                          | 30 |
| 3.3  | Paramétrage de l’organisation dans l’outil monacvnumerique.fr pour une activité                                                                                                                           | 30 |
| 3.4  | Inventaire des équipements du cas d’étude dans Excel . . . . .                                                                                                                                            | 31 |
| 3.5  | Inventaire du cas d’étude selon les activités dans Excel . . . . .                                                                                                                                        | 31 |
| 3.6  | Inventaire des équipements du cas d’étude sous Excel pour l’outil NumEcoEval .                                                                                                                            | 32 |
| 3.7  | Graphique d’impact suivant les phases du cycle de vie pour l’outil NumEcoEval                                                                                                                             | 39 |
| 3.8  | Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour l’outil NumEcoEval .                                                                                                                              | 39 |
| 3.9  | Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour le critère <i>Changement climatique</i> pour l’outil NumEcoEval . . . . .                                                                         | 40 |
| 3.10 | Graphique d’impact total suivant les différents critères pertinents pour l’outil maison . . . . .                                                                                                         | 40 |
| 3.11 | Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour le critère <i>Changement climatique</i> pour l’outil maison . . . . .                                                                             | 40 |
| 3.12 | Graphique de répartition des impacts suivant les types d’équipements pour chaque critère pour l’outil maison . . . . .                                                                                    | 41 |
| 3.13 | Graphique de répartition des impacts suivant les types d’équipements pour chaque critère, pour le service <i>Gestion des infrastructures IT</i> du cas d’étude, pour l’outil monacvnumerique.fr . . . . . | 42 |
| 3.14 | Graphique d’impact selon les applications pour l’outil NumEcoEval . . . . .                                                                                                                               | 42 |
| 3.15 | Graphique de répartition des impacts suivant les services pour chaque critère pour l’outil maison . . . . .                                                                                               | 43 |
| 3.16 | Graphique d’impact suivant les services pour le critère <i>Changement climatique</i> pour l’outil maison . . . . .                                                                                        | 43 |
| 4.1  | Diagramme de positionnement des approches et outils pour l’évaluation environnementale du numérique (1/3) . . . . .                                                                                       | 50 |
| 4.2  | Diagramme de positionnement des approches et outils pour l’évaluation environnementale du numérique (2/3) . . . . .                                                                                       | 51 |
| 4.3  | Diagramme de positionnement des approches et outils pour l’évaluation environnementale du numérique (3/3) . . . . .                                                                                       | 52 |
| 1    | Exemple de questionnaire d’entrée sur monacvnumerique.fr . . . . .                                                                                                                                        | 68 |
| 2    | Exemple de paramètres de scénario sur monacvnumerique.fr . . . . .                                                                                                                                        | 68 |
| 3    | Exemple de résultats d’analyse sur monacvnumerique.fr . . . . .                                                                                                                                           | 69 |
| 4    | Exemple de conseils d’améliorations sur monacvnumerique.fr . . . . .                                                                                                                                      | 69 |
| 5    | Exemple de projection d’améliorations sur monacvnumerique.fr . . . . .                                                                                                                                    | 70 |

|    |                                                                                                                                     |    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6  | Exemple d'inventaire sous Excel . . . . .                                                                                           | 72 |
| 7  | Exemple de graphiques de résultat sous Excel . . . . .                                                                              | 72 |
| 8  | Interface graphique d'accueil de l'outil NumEcoEval . . . . .                                                                       | 74 |
| 9  | Exemple de graphique de résultat selon les phases ACV de l'outil NumEcoEval .                                                       | 74 |
| 10 | Exemple de graphique de résultat selon les applications internes de l'outil NumEcoEval . . . . .                                    | 75 |
| 11 | Interface graphique de SimaPro . . . . .                                                                                            | 77 |
| 12 | Aperçu des résultats d'impact selon les 16 catégories EF dans l'outil Excel . . .                                                   | 87 |
| 13 | Graphique d'impact total suivant les différents critères pertinents pour l'outil maison normalisé par équivalent habitant . . . . . | 89 |
| 14 | Graphique d'impact suivant les types d'équipements pour l'outil NumEcoEval .                                                        | 89 |
| 15 | Graphique de répartition des impacts suivant les types d'équipements pour chaque critère pour l'outil maison . . . . .              | 90 |
| 16 | Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour l'outil maison . . . . .                          | 90 |
| 17 | Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour NumEcoEval . . . . .                              | 91 |
| 18 | Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour NumEcoEval . . . . .                              | 91 |
| 19 | Graphique de répartition des impacts suivant les services pour chaque critère pour l'outil maison . . . . .                         | 92 |
| 20 | Graphique de répartition des impacts suivant les types d'équipements pour chaque critère pour l'outil monacvnumerique.fr . . . . .  | 92 |
| 21 | Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique . . . . .                       | 95 |



# Introduction

Face aux bouleversements environnementaux majeurs de notre époque (changement climatique, perte de biodiversité, pollution chimique, raréfaction des ressources), la nécessité d’une transition vers des modèles de développement soutenables s’impose à toutes les échelles. Longtemps perçu comme immatériel et faiblement impactant, le numérique apparaît aujourd’hui comme un secteur à l’empreinte croissante, impliqué dans la dégradation de plusieurs grands équilibres planétaires. Dans un monde de plus en plus connecté, il est devenu indispensable de mieux comprendre les impacts environnementaux associés aux services numériques et aux organisations qui les produisent ou les exploitent, afin de pouvoir réduire les pressions que celles-ci exercent sur les écosystèmes.

Ce mémoire s’inscrit dans cette dynamique de questionnement en explorant les conditions permettant une évaluation pertinente et opérationnelle de cette empreinte dans un cadre organisationnel. Il s’appuie pour cela sur la question suivante : *Comment les organisations peuvent-elles évaluer de manière pertinente l’empreinte environnementale de leurs activités numériques et engager des actions concrètes pour réduire durablement leurs impacts, et ce, en tenant compte des spécificités du secteur numérique et des enjeux planétaires actuels ?* En réponse à cette question, ce mémoire propose d’examiner les méthodes, référentiels et outils existants permettant d’objectiver ces impacts, tout en les confrontant aux besoins et réalités concrètes des organisations. Pour cela, une posture de recherche-action a été adoptée. Cette approche articule une analyse rigoureuse des cadres théoriques avec une immersion dans les pratiques de terrain, à travers de nombreux échanges avec des experts et des praticiens du numérique responsable. Elle a permis d’identifier les attentes spécifiques des organisations, de valider les hypothèses de travail, et d’orienter la construction des livrables vers des solutions concrètes et adaptables.

Le rapport s’articule autour de cinq chapitres complémentaires. Le chapitre 1 introduit le cadre conceptuel du travail, en replaçant le numérique dans le contexte plus large des limites planétaires, et en définissant les enjeux d’un numérique responsable à l’échelle des organisations. Il expose également la question de recherche, les objectifs du mémoire, ainsi que la posture méthodologique adoptée. Le chapitre 2 justifie l’intérêt d’une approche multicritère fondée sur l’Analyse du Cycle de Vie (ACV), puis présente et compare plusieurs référentiels d’évaluation environnementale, en approfondissant notamment le référentiel O-LCA, jugé le plus pertinent pour répondre aux objectifs du travail. Le chapitre 3 constitue le cœur du travail où on applique concrètement cette méthode à travers une étude de cas fictive, modélisant un département IT. Cette application permet d’explorer les implications méthodologiques, les résultats possibles et les difficultés pratiques d’une telle évaluation. Sur base des résultats présentés dans ce chapitre, les deux derniers chapitres (4 et 5) permettent d’apporter un éclairage qui dépasse le diagnostic d’une évaluation environnementale. Le chapitre 4 propose un éclairage complémentaire pour aider les organisations à mieux comprendre les méthodes, outils et bases de données mobilisables, en s’appuyant notamment sur un diagramme de positionnement construit à partir des enseignements tirés de l’étude de cas. Et le chapitre 5 s’inscrit dans une dynamique de passage à l’action en proposant un tableau structuré d’actions concrètes, visant à aider les organisations à transformer les diagnostics en plans d’amélioration environnementale tangibles.

# Chapitre 1

## Enjeux planétaires, numériques et orientation du mémoire

### 1.1 Enjeux climatiques et limites planétaires

Les activités humaines, depuis la révolution industrielle, ont profondément modifié les grands équilibres biogéochimiques du système Terre. Aujourd'hui, il est reconnu scientifiquement que notre modèle de développement a franchi plusieurs seuils environnementaux critiques, mettant en danger la stabilité du climat, l'intégrité des écosystèmes, la qualité des ressources naturelles et, in fine, les conditions d'habitabilité de notre planète.

**Les impacts concrets du changement climatique sont d'ores et déjà visibles partout dans le monde.** L'étude de MORA et al., 2018 publiée dans *Nature Climate Change* identifie plus de 467 menaces climatiques différentes combinant aléas naturels, dégradations sanitaires, insécurité alimentaire ou vulnérabilités des infrastructures humaines rassemblées dans un schéma (voir Figure 1.1<sup>1</sup>). Ces menaces, loin d'être indépendantes, interagissent de manière systémique, créant des effets en cascade. Les feux de forêt par exemple, peuvent simultanément aggraver la pollution de l'air, surcharger les systèmes de soins et accentuer les vagues de chaleur.

L'étude montre que le réchauffement climatique ne déclenche pas uniquement des catastrophes isolées, mais génère des configurations multiples de risques, allant de la perte de rendements agricoles à l'effondrement de services publics essentiels. **Le danger réside dans la simultanéité et l'interconnexion des menaces** (MORA et al., 2018). Comme rapporté dans le résumé de l'article, les désastres et les effets subis par notre planète peuvent se cumuler : une sécheresse peut précéder un incendie massif ou amplifier les effets d'un ouragan. Dans ce contexte, une approche systémique des risques climatiques est impérative (SERMONDADAZ, 2018).

---

1. La hauteur des barres indique le nombre de dangers impliqués dans ces impacts.

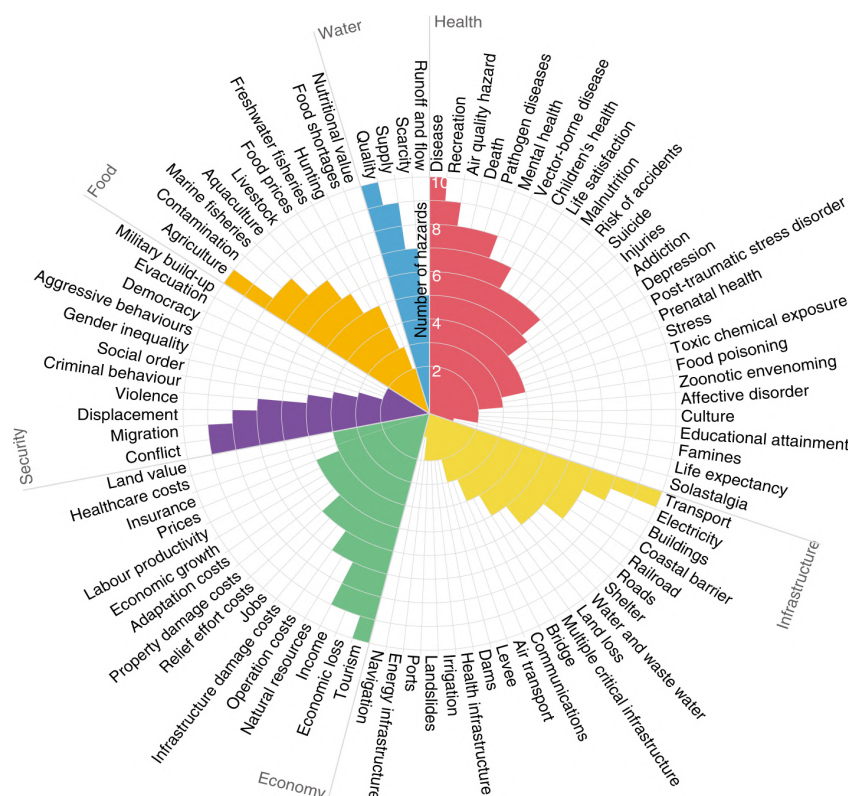


FIGURE 1.1 – Impacts observés des risques climatiques sur l’humanité (MORA et al., 2018).

**Le changement climatique est ainsi devenu le symptôme visible d’une crise plus large** : celle du dépassement des limites de la biosphère. Pour mieux appréhender cette dynamique globale, le cadre conceptuel des *limites planétaires* s’est imposé depuis une quinzaine d’années comme un outil scientifique de référence.

Introduit par le Stockholm Resilience Centre (ROCKSTRÖM et al., 2009), ce cadre identifie **neuf processus biogéophysiques critiques** qui régulent la stabilité du système Terre, chacun associé à un seuil de perturbation à ne pas franchir afin de maintenir des conditions de développement sûres pour l’humanité. Ces processus incluent, entre autres, le changement climatique, l’érosion de la biodiversité, les cycles de l’azote et du phosphore, l’acidification des océans, ou encore l’utilisation des sols.

D’après les travaux récents de RICHARDSON et al., 2023, **six de ces neuf limites sont aujourd’hui franchies** (voir Figure 1.2) :

- le changement climatique ;
- l’érosion de la biodiversité (intégrité de la biosphère) ;
- la perturbation des cycles de l’azote et du phosphore ;
- l’introduction de nouvelles entités chimiques (pollution plastique, PFAS, etc.) ;
- le changement d’usage des sols ;
- et la perturbation du cycle de l’eau douce.

**Ces limites ne sont pas indépendantes les unes des autres.** Le cadre met en évidence des effets de rétroaction et des interactions croisées entre les processus. Par exemple, la déforestation (usage des sols) contribue à la fois à la perte de biodiversité, à l’émission de gaz à effet de serre et à la déstabilisation du cycle de l’eau. Ces interconnexions multiplient les risques de basculement irréversible de certains systèmes écologiques, appelés *tipping points* (RICHARDSON et al., 2023).

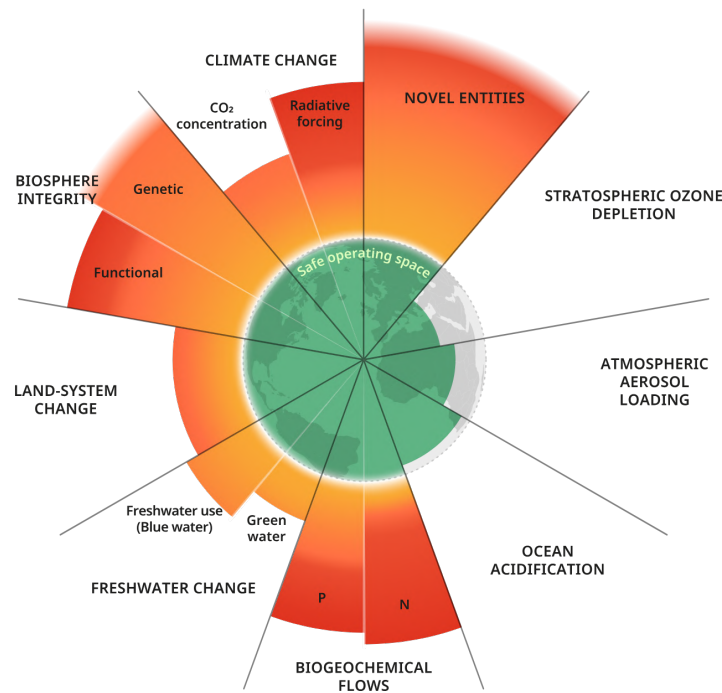


FIGURE 1.2 – Représentation des limites planétaires (RICHARDSON et al., 2023)

Le dépassement de certaines limites planétaires amène à reconnaître que l'**anthroposphère**, c'est-à-dire l'**ensemble des activités humaines**, est devenue une **force géophysique de premier plan** capable d'altérer durablement l'état du système Terre. Cette transformation marque une sortie de l'Holocène, période stable qui a permis l'essor des civilisations humaines, pour entrer dans une ère nouvelle, l'*Anthropocène*, où notre avenir collectif dépend de notre capacité à redéfinir nos trajectoires sociotechniques (STEFFEN et al., 2018).

Face à ces constats scientifiques clairs (intensification du changement climatique, franchissement de plusieurs limites planétaires, dégradation accélérée des écosystèmes), une mobilisation à grande échelle devient indispensable. Il ne s'agit plus seulement de comprendre ou de constater les dérèglements, mais **d'engager des actions concrètes**, coordonnées et ambitieuses à tous les niveaux : politiques, économiques, sociaux et **organisationnels**. Cette transformation implique l'ensemble des secteurs d'activité, sans exception : agriculture, industrie, énergie, mais aussi le numérique, dont le rôle est devenu central dans le fonctionnement de nos sociétés et dans la transformation des autres domaines.

## 1.2 Le numérique dans le monde actuel

Le numérique s'est imposé comme un **pilier fondamental** de nos sociétés contemporaines. Il ne constitue plus simplement un outil ou une série de techniques additionnelles, mais un environnement à part entière dans lequel les individus, les organisations et les institutions évoluent. Le développement massif d'Internet, des infrastructures numériques, des objets connectés, du cloud computing<sup>2</sup> et des logiciels métiers ont profondément modifié les pratiques sociales, économiques et organisationnelles, **entraînant une transformation continue des modes de vie et de travail**.

2. « Le cloud computing ou informatique en nuage est une infrastructure dans laquelle la puissance de calcul et le stockage sont gérés par des serveurs distants auxquels les usagers se connectent via une liaison Internet sécurisée » (FUTURA, 2024).

Dans les discours comme dans les usages, les mots pour désigner cette révolution ont évolué : on a longtemps parlé de "nouvelles technologies", parfois de "nouvelles technologies de l'information et de la communication", ou encore de "nouveaux médias", ou plus simplement d'informatique ou d'électronique (VITALI-ROSATI, 2014). Aujourd'hui, les termes les plus fréquemment mobilisés sont **IT** (*Information Technology*, traduit en français par système d'information ou SI), et **ICT** (*Information and Communication Technologies*, soit technologies de l'information et de la communication, ou TIC). Ces termes désignent un ensemble vaste et évolutif de ressources technologiques destinées à produire, stocker, traiter, transmettre et sécuriser l'information.

Les **technologies de l'information** comprennent un large panel de médias et de dispositifs qui relient les systèmes d'information et les utilisateurs. Cela inclut, entre autres, la messagerie vocale, le courrier électronique, les visioconférences, les intranets d'entreprise, les téléphones portables, les assistants numériques, les réseaux et les infrastructures Internet (DEWETT et JONES, 2001). Ces technologies se sont largement diffusées dans les entreprises, dans les administrations publiques et dans les foyers, contribuant à une **dématérialisation massive** des interactions, des documents et des services.

Cette transition a été particulièrement accélérée à partir des années 1990 avec l'essor du Web. Bien plus qu'un simple vecteur de communication, le Web a engendré une transformation en profondeur des modèles de production, de diffusion et d'appropriation du savoir (VITALI-ROSATI, 2014). Il ne s'agit plus uniquement d'un ensemble d'outils numériques mobilisables pour certaines tâches, mais d'un **nouvel environnement culturel et cognitif** qui façonne la manière dont nous percevons et interagissons avec le monde. Ainsi, le numérique n'est plus un support technique extérieur, mais « l'espace dans lequel nous vivons », qui détermine et modèle nos pratiques sociales, économiques et symboliques (VITALI-ROSATI, 2014).

Cette omniprésence du numérique dans notre quotidien s'observe aussi au niveau des organisations et des entreprises. Il y a typiquement deux endroits où on peut trouver ces dimensions du numérique : les départements IT et les entreprises de services numériques.

Pour le premier, la majorité des structures modernes, qu'il s'agisse d'entreprises privées, d'institutions publiques, ou d'ONG, intègrent aujourd'hui un **département IT** responsable des services numériques de l'entreprise comme la gestion des infrastructures informatiques, le support technique, le développement applicatif ou encore la sécurité des données.

Et pour le second, certaines organisations vont même plus loin : elles sont **entièrement** bâties autour de la prestation de services numériques. On parle alors d'**entreprises de services numériques (ESN)**, ou *Digital Services Companies*. Il s'agit de structures humaines et économiques dont l'activité principale, voire exclusive, est de développer, héberger, maintenir ou sécuriser des services numériques pour des clients externes. Contrairement à un département IT interne qui sert les besoins d'une seule organisation, une ESN opère en tant que prestataire, proposant des services numériques à des tiers.

Ainsi pour la suite de ce travail, il est essentiel de bien distinguer les deux dimensions suivantes :

- les **services numériques** : ce sont les solutions techniques concrètes mises à disposition d'utilisateurs ou de clients, comme une messagerie, une application de comptabilité ou un espace de stockage cloud. Ces services sont les objets consommés ou utilisés dans les usages numériques ;
- les **structures humaines et organisationnelles** qui les produisent ou les administrent, comme un **département IT**, une **équipe de développement logiciel**, ou une **ESN**. Ces structures organisent les ressources humaines, techniques et économiques nécessaires à la conception, à l'exploitation et à l'évolution de ces services numériques.

## 1.3 Le numérique responsable : comprendre les enjeux d'un usage soutenable du digital

### 1.3.1 Constats clés sur les impacts du numérique

À la lumière des enjeux environnementaux mondiaux exposés précédemment, **il est devenu impératif d'interroger le rôle que joue le numérique dans cette dynamique**. Longtemps perçu comme une réponse innovante aux défis du XXI<sup>e</sup> siècle, le numérique s'est imposé dans tous les aspects de nos vies : travail, éducation, santé, mobilité, loisirs, etc. Cette omniprésence, qui peut être une formidable opportunité, soulève également des questions profondes sur sa soutenabilité.

En 2019, on estimait à 34 milliards le nombre d'équipements informatiques dans le monde (hors accessoires), reliés entre eux par des millions de kilomètres de câbles et alimentés en électricité de manière continue. Cette croissance est vertigineuse : on estime que la taille moyenne des écrans aura doublé entre 2010 et 2025, et le nombre d'objets connectés a été multiplié par 48 sur cette même période (BORDAGE, 2019). **Ces chiffres traduisent une explosion de l'usage du numérique**, tant dans les sphères personnelles que professionnelles.

Or, cette expansion n'est pas neutre. Le numérique représentait en 2019 :

- 4,2 % de la consommation mondiale d'énergie primaire (6 800 TWh),
- 3,8 % des émissions mondiales de GES<sup>3</sup> (1 400 MtCO<sub>2</sub>eq), avec une estimation à 5,5 % pour 2025,
- 0,2 % de la consommation mondiale d'eau (7,8 millions de m<sup>3</sup>),
- et 5,5 % de la consommation électrique mondiale (1 300 TWh),

soit **un impact dont l'ordre de grandeur est comparables à des secteurs industriels majeurs**. Rapporté à des usages quotidiens, cela revient à faire fonctionner 82 millions de radiateurs électriques en continu, ou à fournir à chaque Français un pack d'eau minérale par jour pendant une année entière (BORDAGE, 2019).

L'empreinte numérique s'exprime également dans la brièveté de la durée de vie des équipements. Entre 1985 et 2015, la durée d'utilisation d'un ordinateur a été divisée par trois (de 11 à 4 ans), alors même que sa fabrication mobilise en moyenne 22 kg de produits chimiques, 240 kg de combustibles fossiles et 1,5 tonne d'eau (INSTITUT DU NUMÉRIQUE RESPONSABLE (INR), s. d.-b). Par ailleurs, la consommation énergétique des *data centers* connaît une croissance exponentielle. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, leur consommation pourrait doubler entre 2024 et 2026 pour atteindre 1 000 TWh, équivalant à la consommation électrique annuelle du Japon (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2024).

Ce constat doit aussi être mis en perspective avec la structure même du numérique, qui repose sur une interdépendance internationale des infrastructures. En France, par exemple, 53 % des usages numériques sont hébergés à l'étranger, notamment dans des *data centers* localisés hors du territoire national. Cette externalisation des services notamment avec l'essor de l'IA générative ou des algorithmes de recommandation accroît encore notre dépendance aux ressources numériques globales et rend l'évaluation des impacts encore plus complexe (THOMAS et al., 2025).

Face à cette situation, le numérique ne peut plus être envisagé uniquement comme un levier de modernisation ou d'efficacité. Il devient urgent d'en **repenser les usages dans une optique de sobriété, d'éthique et de résilience**. C'est dans cette perspective qu'émerge le concept de **numérique responsable** ou *Sustainable IT* en anglais.

---

3. GES : Gaz à effet de serre

### 1.3.2 Définition et principes du numérique responsable

Le terme « responsable » renvoie à la capacité de répondre de ses actes, à un comportement réfléchi et mesuré (CENTRE NATIONAL DE RESSOURCES TEXTUELLES ET LEXICALES (CNRTL), s. d.). Appliqué au numérique, il désigne une démarche visant à **réduire l’empreinte écologique, économique et sociale** des technologies de l’information et de la communication (*TIC*, ou *ICT* en anglais) tout au long de leur cycle de vie (INSTITUT DU NUMÉRIQUE RESPONSABLE (INR), s. d.-a).

Le numérique responsable est un **usage conscient, éthique et durable des technologies digitales**, qui s’inscrit dans une logique d’amélioration continue, d’arbitrages éclairés et d’alignement avec les objectifs de développement durable (ORSEO, 2024, INSTITUT DU NUMÉRIQUE RESPONSABLE (INR), s. d.-a).

Le numérique responsable (*NR*) repose sur un ensemble de **mesures structurantes** favorisant la réduction de l’empreinte des activités numériques d’une organisation tout en incitant à la transition écologique (GREENSCOPE, s. d.). La démarche prend par exemple en compte l’optimisation des ressources matérielles et logicielles, l’éco-conception des services numériques, la réduction de l’empreinte carbone ou encore la sensibilisation des collaborateurs à leur propre impact numérique.

La première génération d’initiatives en matière de numérique responsable, souvent désignée sous le terme d’*informatique verte* (*green IT*), s’est principalement concentrée sur la réduction de la consommation énergétique des équipements et des *data centers*. Si ces efforts ont permis des gains rapides, ils demeurent insuffisants face à l’ampleur des enjeux. Une **deuxième vague, plus systémique**, est aujourd’hui nécessaire : elle consiste à intégrer ces pratiques dans une stratégie globale de durabilité des entreprises, au-delà de la seule optimisation technique (HARMON et al., 2010).

Cette approche intégrée permet aux entreprises non seulement de réduire leurs coûts et leur consommation énergétique, mais aussi d’améliorer la performance de leurs services numériques, d’assurer leur conformité réglementaire, de **renforcer leur responsabilité sociétale** et de se distinguer sur leur marché (GREENSCOPE, s. d.). En ce sens, le numérique responsable constitue une étape indispensable pour contrôler et améliorer les impacts des usages numériques, tout en en tirant des bénéfices concrets, qu’ils soient environnementaux, sociaux ou économiques.

Adopter une telle démarche revient donc à considérer que le numérique n’est pas neutre. Il doit être pensé non plus comme un outil seulement au service de l’efficacité, mais comme un vecteur de transformation, dont il faut **maîtriser les usages, questionner les finalités et intégrer les impacts dans toutes les décisions**. Il s’agit d’un **changement de paradigme** nécessaire pour aligner le développement technologique avec les limites planétaires et les exigences de justice sociale. Ce changement de paradigme est l’affaire de tous, des consommateurs citoyens aux États qui peuvent légiférer ainsi que des entreprises qui utilisent ou fournissent ces services numériques.

### 1.3.3 Le rôle primordial des organisations

Les **organisations ont un rôle central à jouer** dans la transition vers un numérique plus sobre. Toutes organisations, du petit département IT à l'entreprise de services numériques, doivent prendre part à cette transition. En tant que gestionnaires d'infrastructures, concepteurs de services et prescripteurs d'usages, elles disposent d'un fort pouvoir d'action pour orienter les pratiques numériques. En ce sens, le numérique responsable n'est pas qu'un enjeu technique ou technologique : c'est un enjeu stratégique, organisationnel et sociétal. Il appelle à une **refondation des usages numériques** au sein des organisations, et à une redéfinition de leurs responsabilités face à la transition écologique.

Comme le soulignent RIMANO et al., 2019, les organisations ont une place majeure à prendre dans la tentative de réduction des pressions anthropiques exercées sur l'environnement naturel. En tant qu'acteurs structurants des dynamiques économiques, sociales et techniques, elles disposent d'un levier d'action significatif pour infléchir les trajectoires environnementales. Pour engager une transformation durable de leurs activités, il est avant tout essentiel que les organisations **mettent en place des méthodes holistiques d'évaluation environnementale**. Celles-ci doivent permettre d'appréhender non seulement les impacts directs, mais aussi les effets indirects tout au long de la chaîne de valeur, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie des produits et services. De telles approches offrent une vision plus complète des zones de vulnérabilité et des leviers d'action, et constituent une base indispensable à toute démarche cohérente d'amélioration de la performance environnementale à l'échelle organisationnelle.

## 1.4 Problématique, objectifs et portée du mémoire

Au regard des constats posés précédemment, tant sur les limites planétaires que sur l'empreinte environnementale croissante du numérique, l'intention de ce mémoire est d'offrir des outils concrets pour mieux comprendre et maîtriser les impacts du numérique au sein des organisations. Dans cette perspective, il a pour ambition d'apporter des réponses adaptées à l'urgence environnementale actuelle autour des questions du numérique responsable et ce dans une démarche de recherche orientée vers l'action.

Ainsi la question de recherche guidant ce mémoire est formulée comme suit :

*Comment les organisations peuvent-elles évaluer de manière pertinente l'empreinte environnementale de leurs activités numériques et engager des actions concrètes pour réduire durablement leurs impacts, et ce, en tenant compte des spécificités du secteur numérique et des enjeux planétaires actuels ?*

Plus concrètement, ce travail vise plus **à explorer des méthodes d'évaluation** pertinentes et complètes permettant de diagnostiquer l'impact environnemental du numérique, **d'identifier les points chauds** (hotspots) au sein de ces systèmes, et ainsi de mettre en évidence les leviers d'action pour **favoriser un passage à l'action** concret, au-delà du simple constat ou du reporting.



Pour atteindre ces objectifs, le travail de fin d'étude a consisté à :

- Étudier les principales **méthodes et référentiels** existants en matière d'évaluation environnementale, afin d'identifier les plus pertinents ;
- Analyser une sélection d'**outils opérationnels** d'évaluation environnementale ;
- Aider à mieux comprendre les **implications méthodologiques** liées à la réalisation d'une évaluation environnementale au sein de son organisation (résultats possibles, difficultés pratiques, etc.) ;
- Élaborer une **méthodologie d'aide au passage à action** autour des principaux postes d'émissions numériques.

Les apports de ce travail se traduisent en pratique par les éléments suivants :

- Un **exposé** de la pertinence de la **méthode multicritère-ACV**<sup>4</sup>, et une **comparaison des principaux référentiels** afin d'évaluer l'empreinte numérique de son organisation ;
- Une **présentation approfondie du référentiel O-LCA**<sup>5</sup> et des outils permettant de le mettre en œuvre complété d'un **guide d'utilisation** plus spécifique qui permet de percevoir les étapes de réalisation, les résultats attendus et les difficultés rencontrées ;
- Un **diagramme de positionnement synthétique**, permettant de situer et visualiser les principales méthodes, référentiels et outils mobilisables selon les objectifs et ressources de l'organisation ;
- Un **panorama d'actions concrètes**, permettant d'aider les organisations à prioriser et engager des actions concrètes avec des objectifs d'améliorations ;

Ce travail vise ainsi à fournir des **outils concrets directement mobilisables par les acteurs de terrain**, tels que les référents Green IT ou les responsables de services numériques.

## 1.5 Méthodologie de travail et posture de recherche

Comme évoqué précédemment, ce travail de fin d'études explore le numérique responsable en entreprise dans l'objectif de favoriser le passage à l'action. Pour mener à bien cette démarche, une approche de type **recherche-action** a été adoptée.

La recherche-action est un processus collaboratif ancré dans la pratique de terrain, où théorie et action se nourrissent mutuellement pour répondre à une problématique concrète tout en produisant de nouvelles connaissances. Cette méthode implique une participation active du chercheur, qui agit non pas comme un observateur externe, mais comme un acteur impliqué dans les dynamiques du terrain, en animant, coordonnant et soutenant les participants (MG TFE, s. d.).

La recherche-action se déroule de manière cyclique selon cinq grandes étapes : (1) identifier un problème, (2) établir un plan d'action, (3) agir sur le terrain avec collecte de données, (4) analyser les données et évaluer les résultats, (5) partager les conclusions de la recherche (EDEN et HUXHAM, 1996). Ces étapes sont représentées dans la figure 1.3.

---

4. ACV : Analyse du Cycle de Vie

5. O-LCA : *Organizational Life Cycle Assessment*

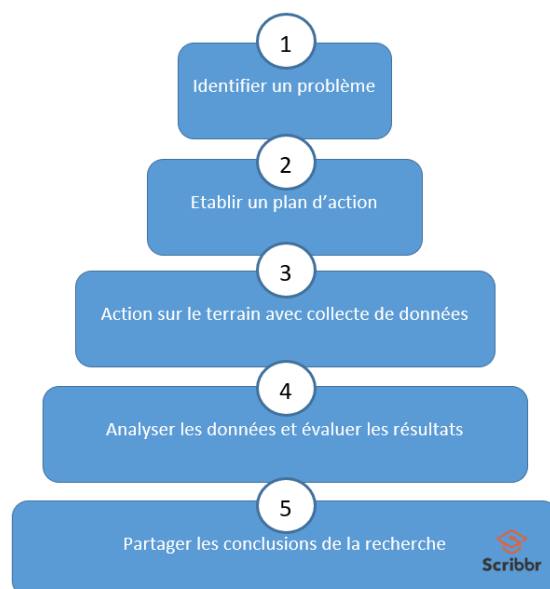


FIGURE 1.3 – Schéma simplifié de la recherche-action (CLAUDE, 2020)

L'adoption de cette méthodologie se justifie pleinement par la nature même du sujet traité. Le numérique responsable est un domaine en rapide évolution, où les besoins du terrain et les réalités opérationnelles varient fortement selon les contextes organisationnels. En s'inscrivant dans une démarche de recherche-action, ce mémoire vise à construire des outils et des recommandations qui soient à la fois scientifiquement fondés et véritablement adaptés aux attentes et contraintes des acteurs de terrain. Multiplier les échanges directs avec des praticiens du numérique responsable a permis d'ancrer ce travail dans des préoccupations réelles, de valider certaines hypothèses de départ et d'ajuster la direction prise au fil du projet.

Concrètement, ce mémoire a été nourri par de multiples échanges avec des acteurs clés du domaine du numérique responsable ou du développement durable. Ces interactions ont permis d'alimenter et d'affiner progressivement la réflexion et la structuration du travail selon les étapes classiques de la recherche-action :

- **Identification du problème** : L'objectif initial était de comprendre les limites actuelles rencontrées par les organisations dans la prise en compte de l'empreinte environnementale de leur numérique. Les échanges préliminaires, notamment avec **Olivier Vergeynst**, directeur de l'Institut Belge du Numérique Responsable<sup>6</sup>, ont mis en lumière un constat : une difficulté fréquente des organisations à transformer leurs évaluations en actions concrètes de réduction d'impact. Ce premier diagnostic a permis de poser les bases de la question de recherche et d'orienter le mémoire vers l'élaboration de solutions pratiques.

Ensuite, nous avons **affiné notre diagnostic** grâce à l'entretien avec **Céline Jennebauffe**, membre de l'équipe Green IT chez Infrabel<sup>7</sup>. Celui-ci a permis de confronter les premiers constats théoriques à la réalité de terrain. Il a enrichi la compréhension des contraintes spécifiques auxquelles les organisations font face (manque de temps, ressources limitées, etc.) lorsqu'elles tentent de déployer des démarches de réduction de leur impact numérique.

6. Institut Belge du Numérique Responsable aussi appelé *Belgian Institute for Sustainable IT* (ISIT) : [www.isit-be.org](http://www.isit-be.org)

7. Infrabel est le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire belge : [www.infrabel.be](http://www.infrabel.be).

- **Établissement du plan d'action :** Suite à la clarification du besoin, la définition d'une stratégie s'est précisée : elle visait à articuler une méthode d'évaluation environnementale adaptée au numérique avec des outils simples permettant la mise en œuvre d'actions concrètes. L'échange avec **Michael Ooms**, co-fondateur de Glimpact<sup>8</sup>, et membre du conseil d'administration d'e-Farmz<sup>9</sup>, a été différenciant pour enrichir cette phase : il a permis d'approfondir la connaissance des différentes méthodologies d'évaluation existantes, de comprendre les enjeux liés au choix d'outils pour accompagner les organisations et de mieux cerner les avantages et limites des bases de données environnementales actuelles.
- **Action sur le terrain et collecte de données :** À partir de là, un travail plus appliqué a été mené. **Olivier Talon**, coordinateur R&D et expert ACV chez Materia Nova<sup>10</sup>, a accompagné le développement du cas d'étude présenté dans ce mémoire, en apportant son expertise technique sur les méthodes et outils d'ACV. Par ailleurs, l'échange avec **Thierry Lochon**, directeur du programme Numérique et Écologie au Ministère de la Transition Écologique français, a permis d'approfondir l'analyse de son outil d'évaluation, en nous exposant les défis rencontrés pour son développement et les perspectives d'amélioration envisagées. Enfin, nous avons également eu l'opportunité d'échanger avec **Christophe Porchet**, un des responsables du numérique responsable chez norsys<sup>11</sup>. Christophe Porchet m'a accordé un accès à leur outil interne d'évaluation, ce qui a permis d'enrichir mon travail en croisant les approches méthodologiques et les retours d'expérience d'une entreprise pionnière sur ces enjeux. Nous avons ensuite eu l'opportunité d'échanger plus en profondeur sur cet outil, sa conception, ses limites, ainsi que sur sa vision globale du numérique responsable et l'évaluation de celle-ci.
- **Analyse et évaluation des résultats :** En croisant les enseignements issus de la littérature scientifique, les données recueillies sur le terrain et les expérimentations menées, un cadre méthodologique a pu être élaboré, visant à guider les organisations vers une meilleure évaluation de l'empreinte de leur numérique et vers l'identification de leviers d'amélioration.
- **Partage des conclusions :** Le travail aboutira à la création de livrables concrets et accessibles, synthèses méthodologiques, outils d'aide à l'évaluation et à l'action, destinés aux responsables numériques des organisations afin de leur permettre d'engager une transition numérique responsable de manière rapide, pragmatique et contextualisée.

Ainsi, cette approche adoptée de recherche-action a permis d'assurer un ancrage pratique du travail tout en construisant une réflexion scientifique sur ces questions du numérique responsable pour les organisations.

---

8. Glimpact est une plateforme numérique permettant d'évaluer la performance environnementale des produits : [www.glimpact.com](http://www.glimpact.com).

9. e-Farmz est une plateforme belge de vente et livraison de produits alimentaires locaux : [www.efarmz.be](http://www.efarmz.be).

10. Materia Nova est un centre de recherche wallon spécialisé dans les matériaux avancés, l'énergie, l'environnement et les procédés durables, axé sur le transfert technologique vers l'industrie (MATERIA NOVA, s. d.).

11. norsys est une entreprise de services numériques, spécialisée dans le conseil en assistance à maîtrise d'ouvrage et l'ingénierie informatique. Elle met en œuvre un modèle de développement qui vise l'excellence économique, l'accomplissement humain, ainsi que la réalisation sociétale et environnementale (NORSYS, s. d.).

## 1.6 Plan du rapport

Le présent rapport s’articule autour de cinq chapitres complémentaires, chacun correspondant à une étape clé du travail mené et contribuant, à sa manière, à répondre à la problématique posée.

Le **Chapitre 2** justifie l’importance d’une évaluation environnementale fondée sur une méthode multicritère de type ACV (Analyse du Cycle de Vie), qui permet de prendre en compte l’ensemble des impacts environnementaux générés tout au long du cycle de vie des activités numériques. Ce chapitre propose également une comparaison structurée des principaux référentiels d’évaluation applicables au numérique, avant de présenter en profondeur le référentiel O-LCA, le plus cohérent avec les objectifs du travail. Il se conclut par un panorama des outils opérationnels existants pour accompagner la mise en œuvre en pratique de ce référentiel.

Le **Chapitre 3** permet de mieux comprendre les implications méthodologiques, les résultats possibles et les difficultés pratiques liées à la réalisation d’une évaluation environnementale dans un contexte organisationnel. Pour ce faire, il met concrètement en œuvre la méthodologie présentée au chapitre précédent à travers une étude de cas fictive appliquée à un département IT, dans le but d’évaluer l’empreinte environnementale des organisations et d’identifier leurs *hotspots*.

Le **Chapitre 4** propose un diagramme de positionnement permettant aux organisations de situer les différentes méthodes, référentiels, outils et bases de données mobilisables pour évaluer l’empreinte environnementale du numérique, en fonction de leurs objectifs, de leur niveau d’ambition et de leurs ressources.

Le **Chapitre 5** vise à accompagner les organisations dans le passage à l’action, une fois les *hotspots* identifiés. Il s’appuie sur la construction d’un recueil d’actions concrètes qui en les répartissant par domaine technique permet de définir des stratégies d’amélioration environnementale à court et moyen terme.

## Chapitre 2

# Méthodes, référentiels et outils d'évaluation environnementale du numérique

Le chapitre précédent a souligné le rôle clé que peuvent jouer les organisations dans la transition écologique, notamment en s'appuyant sur des outils d'évaluation environnementale holistique pour orienter leurs actions. Comme l'a montré l'article RIMANO et al., 2019, l'évaluation constitue une étape structurante pour toute démarche de réduction d'impact, car elle permet de mieux comprendre son empreinte et d'identifier les priorités d'action.

Dans cette perspective, ce chapitre vise à clarifier comment une organisation peut **évaluer l'empreinte environnementale de ses activités numériques**. Il s'inscrit dans la logique d'un passage à l'action fondé sur des constats objectivés : pour pouvoir réduire son empreinte de manière pertinente, encore faut-il savoir où elle se situe, et quels sont les *hotspots* environnementaux sur lesquels concentrer les efforts. Ce chapitre répond donc à la première partie de la question de recherche du mémoire : *comment les organisations peuvent-elles évaluer de manière pertinente l'empreinte environnementale de leurs activités numériques, et ce, en tenant compte des spécificités du secteur numérique et des enjeux planétaires actuels ?*

Nous nous concentrons ici exclusivement sur l'évaluation **environnementale**, en laissant volontairement de côté les dimensions sociales ou économiques, qui relèvent d'autres types d'analyses. Cette focalisation permet de garder une cohérence avec les enjeux écologiques présentés au chapitre 1, et d'approfondir une seule dimension d'impact. Par ailleurs, l'analyse porte spécifiquement sur les impacts à l'échelle des **organisations**, et non des produits ou services individuels : notre objectif est bien de structurer une démarche d'évaluation environnementale à l'échelle d'un système numérique organisationnel.

Pour ce faire, nous nous appuyons sur les apports de la littérature scientifique pour montrer l'intérêt d'une méthode **multicritère de type ACV (Analyse du Cycle de Vie)**. Cette méthode, largement éprouvée dans le domaine scientifique, permet de considérer l'ensemble des impacts environnementaux générés tout au long du cycle de vie des équipements, infrastructures et services numériques (production, usage, fin de vie, etc.).

Dans un second temps, ce chapitre présente une **analyse comparative des référentiels d'évaluation multicritère-ACV** existants à l'échelle organisationnelle. Cette analyse vise à identifier le cadre le plus pertinent pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique dans un contexte organisationnel. Parmi les options étudiées, le référentiel **O-LCA (Organizational Life Cycle Assessment)**, développé sous l'impulsion du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, apparaît comme particulièrement adapté aux objectifs de ce travail. L'application concrète de ce référentiel sera vue au chapitre suivant.

Enfin, à l'issue de cette orientation méthodologique, nous aborderons les **outils opérationnels** disponibles aujourd'hui pour mettre en œuvre une telle évaluation. Le domaine du numérique responsable étant jeune et en constante évolution, une diversité d'outils coexistent actuellement, chacun avec ses spécificités, ses avantages et ses limites. Nous analyserons quatre outils représentatifs qui peuvent accompagner les organisations dans la réalisation d'une évaluation environnementale O-LCA adaptée à leurs besoins.

## 2.1 Méthode multicritère-ACV

Cette section présente d'abord la méthode ACV, ensuite nous abordons l'importance d'une méthode multicritère, qui permet de considérer la diversité des impacts environnementaux. Enfin, nous concluons sur la complémentarité de ces deux dimensions et sur la nécessité de recourir à une méthode multicritère-ACV pour évaluer rigoureusement les impacts du numérique.

Le contenu de cette section s'appuie sur un travail de recherche approfondi, fondé à la fois sur les interactions menées avec des acteurs de terrain et sur l'analyse d'un ensemble varié de sources, incluant des articles scientifiques, des référentiels, des normes et des guides publiés par des organismes reconnus tels que l'ADEME<sup>1</sup>, l'Arcep<sup>2</sup>, l'ISO<sup>3</sup> ou encore l'ITU<sup>4</sup>.

### 2.1.1 Méthode ACV

L'**Analyse du Cycle de Vie (ACV)** est une méthode normalisée permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie, en passant par la fabrication, la distribution, l'utilisation et le traitement des déchets. Contrairement à des méthodes simplifiées comme l'*empreinte carbone*<sup>5</sup>, l'ACV adopte une perspective systémique. Une ACV se décompose en quatre étapes : la définition des objectifs et du champ d'étude (périmètre, unité fonctionnelle<sup>6</sup>, hypothèses), l'analyse de l'inventaire (flux de matières, énergie, émissions), l'évaluation des impacts environnementaux (conversion des flux en impacts comme le changement climatique, l'acidification ou l'eutrophisation à l'aide de méthodes de caracté-

---

1. ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

2. Arcep : Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse.

3. L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une organisation qui établit des normes internationales dans divers domaines.

4. L'ITU (Union internationale des télécommunications) est une agence des Nations unies spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication

5. L'empreinte carbone est une méthode de quantification des émissions de gaz à effet de serre, généralement utilisée pour évaluer les émissions directes et indirectes d'une organisation sur une période donnée. Elle se concentre principalement sur la phase d'usage et uniquement sur l'impact climatique, sans intégrer les autres dimensions environnementales.

6. L'unité fonctionnelle est une mesure de la fonction fournie par le système étudié dans une ACV. Elle sert de référence pour quantifier les intrants et extrants du système, assurant ainsi la comparabilité des résultats entre différentes options.

risation<sup>7</sup>), et enfin l'interprétation des résultats (identification des principaux postes d'impact et recommandations d'amélioration).

Historiquement, les premières politiques environnementales ont porté une attention particulière aux émissions industrielles directes et à la gestion des déchets. Toutefois, cette approche partielle s'est révélée insuffisante pour saisir la complexité des impacts environnementaux générés par les systèmes modernes (DIAS et al., 2019). Dès les années 1990, face à cette limite, des tentatives de formalisation d'une **approche plus globale** ont émergé. En 1992, l'Université de Leyde a publié un premier guide structurant les fondements de l'ACV (HEIJUNGS et al., 1992), posant les bases d'une méthodologie scientifique destinée à évaluer les impacts environnementaux de manière intégrée. Depuis, l'ACV a connu une **adoption croissante**, tant dans la recherche scientifique que dans l'industrie ou les politiques publiques (DIAS et al., 2019). Son utilisation s'est largement diffusée dans des domaines variés, et elle fait aujourd'hui l'objet de **publications régulières** dans des revues scientifiques majeures telles que *Science*.

L'essor de l'ACV s'explique notamment par sa capacité à aide à répondre aux enjeux environnementaux globaux. Dans le domaine du numérique, cette nécessité est particulièrement marquée. Le rapport conjoint de l'ADEME et de l'Arcep publié en 2022 souligne que les méthodes d'ACV sont les plus appropriées pour analyser de manière globale les impacts du numérique (AIOUCH et al., 2022). En se fondant sur cette approche, les auteurs montrent que la phase de **fabrication** représente à elle seule **78%** de l'empreinte carbone des équipements numériques, suivie de 21% pour leur utilisation (ADEME et ARCEP, 2022). Ce résultat illustre que les méthodes qui ne prennent pas en compte l'ensemble du cycle de vie, comme c'est souvent le cas pour l'*empreinte carbone* dans la pratique, sous-estiment largement les impacts réels du numérique en négligeant la majeure partie des impacts liés à la production des équipements.

Les normes internationales relatives à l'évaluation environnementale préconisent également l'utilisation de l'ACV. La norme ISO 14044, qui définit les principes et exigences de l'Analyse du Cycle de Vie, est un **standard de référence** pour la quantification des impacts environnementaux. De même, des recommandations sectorielles telles que l'Empreinte Projet<sup>8</sup> et l'ITU-T<sup>9</sup> L.1480<sup>10</sup> insistent sur l'usage prioritaire d'ACV basées sur la norme ITU-T L.1410 (DELMAS-ORGELET et al., 2024).

La méthode ACV est également imposée dans les référentiels environnementaux officiels. Le Référentiel par Catégorie de Produit (RCP) des services numériques publié par l'ADEME stipule que toute modélisation ne respectant pas les principes de l'ACV, c'est-à-dire ne prenant pas en compte l'ensemble des phases du cycle de vie des équipements, est considérée comme incomplète et non conforme aux exigences méthodologiques (BUREAU VERITAS et al., 2021).

---

7. La caractérisation permet d'associer chaque flux d'inventaire à un impact environnemental spécifique en utilisant des facteurs de conversion. Ces facteurs traduisent, par exemple, chaque quantité de gaz à effet de serre émise est traduite en son équivalent dioxyde de carbone (choisi comme substance de référence pour le réchauffement climatique (*Global Warming*, en kg  $CO_2$  eq/t)), par exemple l'émission de 1kg de méthane correspond environ à 30kg de  $CO_2$ . Parmi les méthodes de calcul les plus utilisées, on retrouve ReCiPe, CML 2002, EDIP et LIME (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015).

8. L'Empreinte Projet est une méthode développée par l'ADEME qui permet d'évaluer de manière systémique si la mise en place d'un projet par rapport à une situation dite « de référence » est bénéfique ou non pour l'environnement. En ce sens, elle s'appuie sur les concepts de l'ACV conséquentielle et sur le protocole de la méthode QuantiGES. (ADEME, 2024).

9. ITU-T est le secteur de normalisation des télécommunications de l'ITU

10. La recommandations ITU-T L.1480 et ITU-T L.1410 concernent l'évaluation de l'impact environnemental des produits et services numériques.

### 2.1.2 Méthode multicritère

Une méthode **multicritère** consiste à évaluer les impacts environnementaux d'un système en prenant en compte plusieurs catégories d'impacts simultanément. Cette diversité d'indicateurs permet de **mieux appréhender la complexité des interactions** entre systèmes humains et environnementaux, en intégrant des dimensions telles que l'épuisement des ressources, la pollution de l'air ou de l'eau, ou encore la perte de biodiversité.

À l'inverse, les méthodes dites *monocritères*, qui se limitent généralement à un seul indicateur comme les émissions de gaz à effet de serre, présentent des limites importantes. Comme présenté au chapitre précédent (1.1), les enjeux environnementaux ne se résument pas à la lutte contre le changement climatique. Parmi les neuf limites planétaires identifiées, le changement climatique n'est qu'un aspect, et la concentration atmosphérique en  $CO_2$  en est seulement un indicateur parmi d'autres (RICHARDSON et al., 2023).

De plus, se limiter à une seule catégorie d'impact peut entraîner des **transferts de pollution**, où l'amélioration d'un impact donné se fait au détriment d'un autre (WOLF et al., 2010). Ce phénomène est d'autant plus problématique dans le cadre de systèmes complexes comme le numérique, où les effets se répercutent sur différentes étapes du cycle de vie et catégories d'impact. Le rapport ADEME–Arcep de 2022 identifie ainsi comme impacts majeurs du numérique l'épuisement des ressources énergétiques fossiles, les radiations ionisantes, et l'épuisement des ressources abiotiques, en plus de l'empreinte carbone (ADEME et ARCEP, 2022). Se concentrer uniquement sur le climat revient donc à négliger des pressions environnementales pourtant majeures.

Le besoin d'une méthode multicritère est aujourd'hui **reconnu dans la littérature scientifique**. Le rapport de l'ADEME et de l'ARCEP sur l'évaluation de l'impact environnemental du numérique souligne la nécessité de dépasser l'indicateur unique de  $CO_2$  et appelle à une étude des impacts environnementaux selon une méthode multicritère. Parmi ses recommandations, il propose d'« imposer des objectifs suivant d'autres critères que les émissions de GES, traduisant la réduction de consommation d'eau et autres ressources » (AIOUCH et al., 2022 : p. 154).

Les référentiels méthodologiques et réglementaires convergent également vers cette exigence. Le Référentiel par Catégorie de Produit (RCP) des services numériques précise que toute évaluation environnementale fondée sur un seul indicateur est considérée comme incomplète et non conforme à la méthodologie définie dans ce cadre (BUREAU VERITAS et al., 2021).

De plus, les normes ISO 14040 et 14044, qui encadrent la réalisation des Analyses de Cycle de Vie, imposent explicitement l'identification de plusieurs catégories d'impacts environnementaux pertinentes pour l'objet étudié.

### 2.1.3 Importance de la méthode *multicritère-ACV*

Au regard de ces définitions et constats concernant l'ACV et le multicritère, on comprend que l'évaluation environnementale d'un système numérique doit reposer sur une méthode **rigoureuse, cohérente avec les enjeux globaux et les cadres de référence existants**. La méthode ACV permet de considérer l'ensemble des phases du cycle de vie d'un système, et son approche multicritère élargit la perspective au-delà du seul indicateur climatique, en intégrant des impacts tels que l'épuisement des ressources, la pollution de l'eau ou l'écotoxicité. L'association de ces deux dimensions constitue aujourd'hui **une exigence à la fois scientifique, normative et opérationnelle**, à laquelle ce travail souhaite répondre.



Pourtant, malgré leur complémentarité et leur pertinence, les méthodes *multicritère-ACV* restent sous-utilisées dans les évaluations environnementales du numérique. Entre 2010 et 2020, moins de la moitié des études y avaient recours, et seulement 7% déclaraient suivre totalement ou partiellement une méthode reconnue d'évaluation d'impact (AIOUCH et al., 2022). Pire encore, leur usage tend à reculer au profit d'approches *monocritères* centrées sur l'*empreinte carbone*. Ce glissement s'explique en partie par les exigences des réglementations nationales et européennes, qui concentrent l'attention sur les objectifs climatiques (AIOUCH et al., 2022). Dès lors, de nombreuses entreprises structurent leurs stratégies environnementales exclusivement autour du carbone, au détriment d'une vision systémique des pressions environnementales.

Ce constat souligne l'enjeu de réaffirmer la légitimité et la valeur ajoutée des approches *multicritère-ACV*, en particulier dans un domaine aussi transversal et complexe que le numérique.

## 2.2 Référentiels existants

Avant d'aborder les référentiels existants, il est important de différencier une méthode d'un référentiel.

« Une méthode d'évaluation environnementale est un ensemble de règles et d'étapes de calcul permettant d'aboutir à l'évaluation de l'impact environnemental d'un système [...] » (AIOUCH et al., 2022 : p. 11). Son objectif est de mesurer et d'analyser les effets sur l'environnement et d'en prévenir les conséquences dommageables. On peut citer comme exemple la méthode *Multicritère - ACV* ou *Monocritère - Empreinte Carbone*.

Un référentiel, quant à lui, est un document structuré constitué de recommandations, normatives ou non, et de bonnes pratiques utilisées pour l'application d'une méthode dans un contexte donné, pour une catégorie de produit, ou pour un objectif particulier (AIOUCH et al., 2022). Par exemple, les normes ISO ou les référentiels de l'ITU définissent des cadres d'application spécifiques pour l'ACV.

Il existe plusieurs types de référentiels qui suivent la **méthode *Multicritère - ACV***, chacun ayant ses spécificités en termes de **portée méthodologique** et d'**applicabilité**. Le tableau 2.1 fournit un aperçu comparatif de quatre référentiels *Multicritère - ACV* rapporté fréquemment dans la littérature scientifique (AIOUCH et al., 2022 ; RIMANO et al., 2019). Il met en évidence trois dimensions essentielles : le **secteur couvert**, le **système couvert** et le **nombre de catégories d'impacts** prises en compte dans l'évaluation.

Le *secteur couvert* permet de distinguer les référentiels généralistes, applicables à tout type d'activité, de ceux spécifiquement conçus pour le secteur numérique. Le *système couvert*, quant à lui, différencie les référentiels centrés sur des produits ou services individuels, de ceux orientés vers une évaluation organisationnelle globale. Cette distinction est particulièrement stratégique dans le cadre de ce travail, qui plaide en faveur d'une approche élargie et systémique, évitant de se limiter à l'analyse de composants isolés du système numérique. Enfin, le *nombre de catégories d'impacts* reflète à la fois le niveau de granularité environnementale visé et la flexibilité laissée à l'évaluateur. Certains référentiels imposent un cadre normé avec des catégories prédéfinies, d'autres laissent une certaine liberté de sélection.

TABLEAU 2.1 – Comparaison des principaux référentiels *Multicritère - ACV*

| Nom du référentiel                                             | Secteur couvert | Système couvert                     | Nombre de catégories d'impacts                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ISO 14040/14044</b>                                         | Tous secteurs   | Général (produits ou organisations) | <b>Dépend de l'étude ACV</b> réalisée. Typiquement une dizaine de catégories selon la méthode AICV <sup>11</sup>                                                                |
| <b>ETSI <sup>12</sup> ES 203 199</b> (équivalent ITU-T L.1410) | Numérique / TIC | Biens, réseaux et services TIC      | Fournit une <b>liste de catégories d'impacts</b> avec des recommandations contextuelles. L'impact « Changement climatique » est obligatoire; les autres doivent être justifiés. |
| <b>Organisation Environmental Footprint (OEF)</b>              | Tous secteurs   | Organisationnel                     | <b>16 catégories d'impacts</b> définies précisément par la Commission Européenne, avec description et unités                                                                    |
| <b>Organizational Life Cycle Assessment (O-LCA)</b>            | Tous secteurs   | Organisationnel                     | <b>Dépend de l'étude ACV</b> réalisée, flexibilité dans le choix des catégories pertinentes                                                                                     |

Dans la suite de la section, on précise les apports et limites des quatre référentiels présentés dans le tableau (2.1). Nous avons pour objectif d'identifier le référentiel le plus adapté à une évaluation de l'empreinte numérique dans une dynamique organisationnelle en intégrant une diversité d'impacts environnementaux.

**ISO 14040/14044** constitue la base méthodologique internationale pour toute ACV. Ces normes définissent les exigences générales pour conduire une analyse du cycle de vie, en posant un cadre rigoureux et standardisé applicable à tout type de système (ISO, 2006a, ISO, 2006b). Cependant, leur grande généralité les rend peu opérationnelles dans un contexte organisationnel ou spécifique au secteur du numérique/TIC. Elles servent essentiellement de fondement sur lequel s'appuient d'autres référentiels, plus applicatifs et ciblés.

**ETSI ES 203 199** (équivalent ITU-T L.1410) est un référentiel développée conjointement par ETSI et ITU orienté spécifiquement vers le secteur des TIC. Il permet d'évaluer l'impact environnemental à travers une approche cradle-to-grave <sup>13</sup> incluant les impacts directs et indirects. Il repose sur l'ACV et complète les normes ISO, tout en fournissant un cadre sectoriel commun et fiable pour les industriels du numérique (ETSI, 2025). En revanche, ce référentiel n'est pas adapté à l'analyse environnementale d'une organisation dans sa globalité, car il se concentre uniquement sur ses éléments constitutifs et non sur son fonctionnement global. Il peut néanmoins enrichir une analyse organisationnelle en précisant les impacts des actifs IT.

11. L'analyse d'impact du cycle de vie (AICV ou *LCIA* en anglais) traduit les émissions et les extractions de ressources en un nombre limité de scores d'impact environnemental au moyen de facteurs de caractérisation. (NATIONAL INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT, 2024).

12. L'ETSI est l'*European Telecommunications Standards Institute*, produisant des normes applicables à l'échelle mondiale pour les systèmes, applications et services basés sur les TIC. (ETSI, s. d.).

13. L'évaluation "*cradle to grave*" ("du berceau à la tombe") prend en compte les impacts à chaque étape du cycle de vie d'un produit, depuis l'extraction des ressources naturelles jusqu'à son élimination. (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, s. d.).

Les référentiels *Organisation Environmental Footprint* (OEF) et l'*Organizational Life Cycle Assessment* (O-LCA) se distinguent par leur portée organisationnelle et leur applicabilité multi-secteurs. Ce sont les deux cadres les plus pertinents pour une analyse globale des impacts environnementaux d'une organisation numérique. Ces deux approches reposent sur les principes fondamentaux de l'ACV, mais présentent des différences méthodologiques importantes. Malgré leur développement récent (2014 pour l'OEF et 2015 pour l'O-LCA), ces deux référentiels sont cités régulièrement dans la littérature. Conçus pour s'appliquer à des organisations de toutes tailles, qu'ils soient publiques ou privées, et couvrant l'ensemble des secteurs d'activité à l'échelle mondiale (RIMANO et al., 2019), elles ne sont pas spécifiquement dédiées aux TIC. Toutefois, leur approche multi-sectorielle leur permet d'être pleinement adaptées à l'évaluation des impacts environnementaux des départements IT.

L'OEF est une méthodologie développée par la Commission Européenne pour harmoniser l'évaluation environnementale des organisations. Elle repose sur 16 catégories d'impacts définies précisément, avec des unités et descriptions normalisées. L'approche vise la comparabilité entre organisations d'un même secteur, en s'appuyant sur des règles sectorielles spécifiques (OEFSRs<sup>14</sup>) (DAMIANI et al., 2022). Cette orientation en fait un outil puissant pour le reporting et la communication externe. Toutefois, à ce jour, aucune OEFSR spécifique au secteur des TIC n'est disponible, limitant la précision des évaluations dans ce domaine. De plus, certaines exigences strictes (pondération, comparabilité, format de reporting) alourdissent la mise en œuvre et peuvent s'éloigner des principes de flexibilité défendus dans les normes ISO (FINKBEINER, 2014).

L'O-LCA, développé par UNEP/SETAC<sup>15</sup> est une extension de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée aux organisations. Son développement répond à un besoin croissant d'évaluer l'impact environnemental des entités économiques de manière systémique, en prenant en compte l'ensemble des processus et flux associés à leurs activités. O-LCA propose une alternative plus souple. Il autorise chaque organisation à sélectionner les catégories d'impacts les plus pertinentes pour son activité et s'oriente prioritairement vers l'**amélioration continue en interne**, en soutien aux démarches de pilotage environnemental (ISO, 2014 et MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015). Cette flexibilité rend son application particulièrement pertinente dans une logique de compréhension des enjeux, d'identification de leviers d'actions et de mise en mouvement progressive, sans viser une standardisation ou une comparaison inter-organisationnelle. Enfin, l'O-LCA bénéficie d'une adoption scientifique plus importante. L'étude de RIMANO et al., 2019 recense 27 études de cas fondées sur l'O-LCA contre seulement cinq pour l'OEF. Cette popularité s'explique en partie par la présence de cas pratiques dans les guides officiels (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015, 2017) et par la flexibilité de mise en œuvre.

Ces éléments montrent que l'OEF, bien qu'efficace pour des initiatives sectorielles et des objectifs de comparabilité, repose sur un cadre strict qui peut complexifier sa mise en œuvre. Son absence de règles spécifiques aux TIC limite aussi sa pertinence pour des évaluations ciblées dans ce domaine. À ce titre, l'O-LCA apparaît comme un **levier plus adapté pour des organisations cherchant des finalités de compréhension, de pilotage et d'action**. Son orientation vers l'appropriation progressive, l'amélioration continue et la flexibilité méthodologique en fait un cadre méthodologique solide pour accompagner une transition numérique

---

14. Les OEFSRs (*Organisation Environmental Footprint Sector Rules*) sont des règles sectorielles spécifiques qui précisent l'application de la méthodologie OEF pour un secteur donné, assurant une meilleure harmonisation des analyses et des comparaisons. (DAMIANI et al., 2022).

15. Le *United Nations Environment Programme* (UNEP) et la *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) ont lancé un partenariat international sur le cycle de vie, connu sous le nom d'Initiative sur le cycle de vie, pour permettre aux utilisateurs du monde entier de mettre en pratique efficacement la réflexion sur le cycle de vie (USETOX, s. d.).

responsable à l'échelle organisationnelle. Par ailleurs, comme cela sera justifié dans la section suivante, le référentiel O-LCA apparaît comme le plus pertinent pour la suite du travail car il répond de manière cohérente aux objectifs de compréhension et d'action identifiés.

## 2.3 Le référentiel O-LCA

### Cadre de développement et fondements normatifs

L'**Organizational Life Cycle Assessment (O-LCA)** a été formalisée en 2015 par la publication du guide *Guidance on Organizational Life Cycle Assessment* de l'UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015). Elle s'appuie sur les principes fondamentaux de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), tels que définis dans les normes ISO 14040 et 14044 (ISO, 2006a, ISO, 2006b), et les adapte à l'échelle organisationnelle via la spécification technique ISO/TS 14072<sup>16</sup>.

L'objectif de l'O-LCA est d'évaluer de manière intégrée les impacts environnementaux générés par l'ensemble des activités d'une organisation. Contrairement à une ACV produit, elle couvre un périmètre global, incluant les flux internes, les processus amont et aval, ainsi que les interactions entre unités fonctionnelles.

### Principes clés et mise en œuvre

L'O-LCA reprend les quatre grandes étapes de l'ACV : définition des objectifs et du champ d'étude, inventaire des flux (LCI), évaluation des impacts (LCIA) et interprétation des résultats. Elle se distingue cependant par plusieurs spécificités méthodologiques essentielles :

- **Approche systémique globale** : tous les flux et activités de l'organisation sont intégrés, ce qui permet une analyse complète du fonctionnement environnemental de la structure.
- **Adaptation des unités fonctionnelles** : les flux d'entrée et de sortie sont liés à des indicateurs pertinents à l'échelle organisationnelle, comme le nombre d'employés, les services fournis ou les budgets opérationnels.
- **Sélection contextuelle des indicateurs** : les organisations choisissent les catégories environnementales les plus pertinentes à analyser (épuisement des ressources, changement climatique, etc.), selon leurs spécificités et enjeux sectoriels.
- **Flexibilité d'application** : le guide UNEP/SETAC distingue plusieurs niveaux d'appropriation, de l'analyse simplifiée à l'étude approfondie, permettant une montée en maturité progressive.

### Défis méthodologiques identifiés

Malgré ses atouts, plusieurs défis doivent être considérés dans la mise en œuvre de l'O-LCA (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2017, 2018) :

- **Délimitation du périmètre** : la complexité des systèmes organisationnels rend parfois difficile la définition claire des frontières de l'étude.

---

16. L'ISO/TS 14072 :2014 (ISO, 2014) est une *Spécification Technique* (TS pour *Technical Specification*) qui adapte les principes de l'ACV aux organisations, en complément des normes ISO 14040/44. Contrairement à une norme ISO classique, une spécification technique fournit des directives méthodologiques sans avoir le même statut normatif. En 2024, une nouvelle version, ISO 14072 :2024 (ISO, 2024), a été publiée, remplaçant l'ISO/TS 14072 :2014 et consolidant son cadre méthodologique pour l'Analyse du Cycle de Vie Organisationnelle.

- **Collecte des données spécifiques** : l'évaluation exige un volume important de données spécifiques<sup>17</sup>, difficiles à réunir sans coordination entre les différentes unités et les fournisseurs.
- **Interprétation des résultats** : le traitement d'un volume conséquent d'indicateurs environnementaux implique des outils et des compétences spécifiques pour être correctement interprété et exploité.
- **Communication limitée** : l'O-LCA n'est pas conçue pour des comparaisons externes. Elle privilégie un usage en interne, ce qui peut restreindre son utilité dans les stratégies de reporting ou de valorisation externe.

## Conclusion et positionnement dans ce travail

Compte tenu de son alignement avec les normes internationales, de sa capacité à s'adapter aux spécificités organisationnelles, de sa structure flexible et de son orientation vers une amélioration continue des performances environnementales, l'O-LCA apparaît comme le référentiel le plus en adéquation avec les besoins identifiés dans ce travail.

Il constituera ainsi la base méthodologique retenue pour illustrer, dans les chapitres suivants, comment une organisation peut évaluer en pratique l'empreinte environnementale de son numérique et initier des actions ciblées d'amélioration.

## 2.4 Outils opérationnels pour la mise en œuvre d'une évaluation O-LCA

Après avoir défini le cadre méthodologique pertinent pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique à l'échelle organisationnelle, cette section s'intéresse à sa mise en œuvre concrète. En d'autres termes, *quels outils permettent aujourd'hui de conduire une évaluation environnementale selon les principes de l'O-LCA dans un contexte numérique ?*

Pour conduire une O-LCA, il est en effet nécessaire de s'appuyer sur des outils qui facilitent la modélisation des flux, l'analyse d'impacts environnementaux et l'interprétation des résultats. Dans un contexte où le numérique responsable est encore un champ émergent, plusieurs solutions coexistent, certaines généralistes issues du monde de l'ACV, d'autres spécifiquement développées pour le numérique. Ce panorama s'appuie à la fois sur une revue de la littérature, sur l'analyse d'outils observés sur le terrain et sur les échanges menés avec plusieurs acteurs engagés dans le numérique responsable. En tenant compte de l'actualité (version ou disponibilité en 2024–2025) et de l'usage potentiel par des organisations souhaitant initier une première évaluation, nous présentons ici quatre approches représentatives :

1. Le site **monacvnumerique.fr**, lancé en mars 2025 dans le cadre du projet Global Eco Concept par la région Hauts-de-France, norsys et rev3<sup>18</sup>.
2. La **construction d'un outil maison**, typiquement sous Excel que l'organisation peut développer elle-même.

---

17. Les données spécifiques (ou primaires) sont des informations collectées directement par l'organisation étudiée, spécifiquement pour l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Elles proviennent généralement de mesures, d'enquêtes internes ou de bases de données propriétaires, et concernent des aspects tels que la consommation d'énergie, les matières premières utilisées ou les émissions générées. Elles se distinguent des données génériques (ou secondaires), qui proviennent de sources externes comme des bases de données ACV génériques ou des études scientifiques (ISO, 2006b).

18. rev3 est l'étendard et le catalyseur des ambitions et actions des Hauts-de-France pour promouvoir une région plus durable et plus solidaire pour et avec les hommes, les territoires et la planète (REV3, s. d.).

3. L'outil **NumEcoEval**, conçu par le Ministère français de la Transition écologique, actuellement en phase bêta.
4. Les **logiciels d'ACV classiques**, comme *OpenLCA* (sorti en 2006, dernière mise à jour en janvier 2024) ou *SimaPro* (lancé en 2007, mise à jour en mars 2025).

Dans le cadre de ce travail, nous avons eu l'occasion de réaliser une étude approfondie de ces différents outils et de leur utilisation pour lequel le lecteur trouvera une présentation détaillée en annexe A. Par ailleurs, nous fournissons dans le tableau 2.2 une comparaison de ces outils sur bases de différents critères : la facilité d'utilisation, le niveau de connaissance requis, le temps nécessaire, le coût, la nature des résultats fournis ainsi que les principales limites rencontrées. Ces critères permettent d'identifier les points forts et les contraintes de chaque solution, et d'éclairer leur pertinence en fonction du contexte d'usage.

Sur base de ce tableau, nous pouvons mener deux types d'analyse, une **lecture horizontale** permet de découvrir en détail les caractéristiques d'un outil donné sur l'ensemble des critères d'analyse. À l'inverse, une **lecture verticale** permet de comparer les outils entre eux pour un critère particulier, et ainsi de repérer l'outil le plus adapté aux besoins spécifiques d'une organisation.

L'analyse croisée des différents outils repris dans le tableau 2.2 montre qu'aucun ne constitue une solution universelle. Chaque outil présente des compromis entre accessibilité, précision, robustesse et flexibilité. Deux grandes familles d'usage se distinguent :

Les outils **grand public** comme *monacvnumerique.fr* ou *NumEcoEval* se veulent accessibles, rapides et utiles pour amorcer une première démarche. Ils conviennent à des structures débutantes en numérique responsable ou disposant de peu de ressources internes. Toutefois, leurs limites en termes de personnalisation et de transparence méthodologique peuvent freiner leur utilisation pour des démarches plus approfondies.

Les **outils avancés**, comme les logiciels classiques d'ACV ou les outils maison bien construits, permettent d'aller plus loin dans la modélisation des flux et l'analyse des impacts. Ils nécessitent cependant un investissement plus conséquent, tant en compétences qu'en temps. Ce sont ces outils qui conviennent aux organisations plus matures ou disposant d'une expertise ACV en interne.

Cette analyse croisée des outils opérationnels met en lumière les opportunités et les contraintes associées à chacun d'eux. Leur pertinence dépend étroitement du profil de l'organisation, de son niveau de maturité en matière de numérique responsable, de la complexité du périmètre évalué, ainsi que des moyens humains, techniques ou financiers disponibles.

Le chapitre suivant, consacré à la mise en œuvre concrète d'une analyse environnementale du numérique, mobilisera certains des outils présentés ici. Cela permettra d'en illustrer l'usage sur le terrain et de comparer les types d'analyses qu'ils permettent selon les contraintes et les objectifs de l'organisation. Dans ce cadre, notons qu'un outil Excel a également été spécifiquement développé pour ce mémoire. Cet outil a été conçu pour illustrer au mieux l'analyse comparative des différents outils et permettre leur mise en perspective avec un outil Excel concret.

Mentionnons également que le travail bibliographique de ce chapitre 2, complété par la mise en œuvre concrète réalisée au chapitre 3, a conduit à la réalisation d'un outil d'aide à la décision, conçu pour guider les organisations dans le choix de l'approche la plus adaptée. Celui-ci sera présenté au chapitre 4.

TABLEAU 2.2 – Comparaison des outils opérationnels pour une évaluation O-LCA appliquée au numérique

| Outil                                              | Facilité d'utilisation                                  | Niveau de connaissance requis                                  | Temps nécessaire                                                                       | Coût                                                           | Résultats obtenus                                                                                            | Principales limites                                                                                                            |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>monacv-numerique.fr</b><br>(2025)               | Très simple, interface web ergonomique                  | Très faible (aucune connaissance ACV)                          | Très rapide (quelques heures)                                                          | Gratuit (réservé aux entreprises françaises)                   | Estimations générales de services numériques, propositions d'actions, vue globale non prévue                 | Simplification forte, absence de vision organisationnelle directe, peu de personnalisation, forte orientation serveurs.        |
| <b>Outil maison (Excel)</b>                        | Dépend de la conception, adaptable aux besoins          | Moyen à élevé selon complexité (concepts ACV clés à maîtriser) | Variable (selon précision et résultats recherchés) + temps de développement nécessaire | Gratuit, sauf si bases ACV payantes utilisées                  | Personnalisation complète, flexibilité maximale, résultats dépendants de la rigueur de conception            | Risque d'erreurs élevé lors de la conception, validation méthodologique difficile, qualité dépendante des compétences internes |
| <b>NumEcoEval</b><br>(bêta, 2025)                  | Moyennement simple, structuration rigoureuse nécessaire | Faible à moyen                                                 | Moyen (prise en main + collecte des données)                                           | Gratuit, sauf si bases ACV payantes utilisées                  | Vue d'ensemble organisationnelle, résultats détaillés par phase, équipements, service, indicateurs ACV, etc. | Complexité actuelle de structuration, rigidité pour modifier profondément les hypothèses, hébergement technique lourd          |
| <b>Logiciels ACV classiques (OpenLCA, SimaPro)</b> | Complexe à maîtriser, non dédié au numérique            | Élevé (expertise ACV indispensable)                            | Long (formation + modélisation détaillée)                                              | Gratuit (OpenLCA) à payant (SimaPro) + bases souvent coûteuses | Modélisation fine, résultats complets, comparabilité forte                                                   | Temps important, compétences élevées requises, coût potentiel élevé, complexité des bases et des interprétations               |

# Chapitre 3

## Mise en application de l'O-LCA

Les chapitres précédents ont posé les fondations méthodologiques d'une évaluation environnementale du numérique à l'échelle organisationnelle. Après avoir démontré l'importance de la méthode **multicritère de type ACV** et identifié l'**O-LCA** comme le référentiel le plus adapté pour structurer cette évaluation dans un contexte numérique, ce chapitre vise à approfondir la compréhension des implications concrètes de sa mise en œuvre.

À ce jour, les travaux appliquant l'O-LCA à un département ou à un système numérique restent quasi **inexistants dans la littérature**. Ce chapitre cherche ainsi à mieux comprendre les implications méthodologiques d'une O-LCA appliquée au numérique. L'objectif est d'identifier les points d'attention à anticiper lors de la mise en œuvre, ainsi que les **leviers d'action** que permet une telle approche, notamment en observant comment l'analyse rend visible les **hotspots environnementaux** du système numérique étudié.

Les enseignements présentés dans ce chapitre s'appuient directement sur la réalisation concrète d'une étude de cas, développée spécifiquement dans le cadre de ce travail. En mettant en œuvre la méthode O-LCA sur un département IT fictif, il a été possible d'identifier des éléments essentiels que seule la pratique permet de faire émerger : **données et ressources nécessaires, freins techniques, organisationnels et humains, interprétations possibles, et apports concrets de la méthode**. Cette étude de cas, construite à partir d'une modélisation complète et rigoureuse, constitue le **cœur de la démarche méthodologique** du travail. Elle a permis de nourrir une réflexion critique et de formuler des **enseignements extrapolables** à d'autres contextes numériques, là où la littérature reste encore lacunaire. Le présent chapitre propose donc une double lecture : une centrée sur la mise en œuvre concrète de la méthode O-LCA (avec l'étude de cas détaillée présentée en annexe B), et une autre lecture, plus transversale, portant sur les enseignements généraux et les recommandations méthodologiques dégagés de cette mise en pratique.

Cette mise en application est également l'occasion de **compléter l'analyse croisée des outils** présentée au chapitre précédent (voir section 2.4). Trois d'entre eux sont mobilisés ici pour certaines étapes techniques de l'O-LCA : *monacvnumerique.fr*, la version bêta de *NumEcoEval*, et un *outil maison sous Excel* développé pour ce travail de fin d'études. L'utilisation de ces outils permet d'illustrer concrètement les **différents niveaux d'approfondissement envisageables**, ainsi que les contraintes pratiques et les types de résultats auxquels ces outils peuvent mener dans le cadre d'une évaluation environnementale organisationnelle.

**Ce chapitre est structuré en deux sections complémentaires.** La première propose une présentation structurée de la mise en œuvre de l'O-LCA, analysée selon une grille de lecture commune enrichie de retours d'expérience et d'exemples concrets du cas d'étude. La seconde section viendra clore le chapitre par une **prise de recul globale**, formulant les enseignements clés, limites, et recommandations pour une application future de l'O-LCA au numérique.



### 3.1 Déroulement de l'O-LCA et retours d'expérience appliqués

Cette première section reprend les **quatre grandes étapes classiques de l'ACV**, reprises dans la démarche O-LCA :

- I. Définition des objectifs et du champ d'étude,
- II. Analyse de l'inventaire du cycle de vie (LCI),
- III. Évaluation des impacts du cycle de vie (LCIA),
- IV. Interprétation des résultats.

Chaque étape est présentée selon une structure récurrente fondée sur cinq questions, qui servent de fil conducteur à la lecture :

- *En quoi consiste l'étape ?* Cette première sous-partie décrit synthétiquement, sur base du guide officiel O-LCA MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015, en quoi consiste concrètement l'étape et précise les objectifs.
- *De quoi avons-nous besoin pour cette étape ?* Cette partie détaille les ressources, données et compétences nécessaires pour mener l'étape à bien.
- *Quelle est la forme des résultats obtenus ?* Cette section décrit les résultats attendus à l'issue de l'étape, ainsi que la forme de ceux-ci à ce stade de l'évaluation.
- *Quels sont les enjeux et difficultés identifiés ?* Cette partie tire les enseignements de la mise en œuvre, en pointant les freins (techniques, organisationnels, humains) ou les points de vigilance observés à l'application de l'O-LCA pour évaluer l'empreinte du **numérique**.
- *Comment cette étape a-t-elle été appliquée dans le cas d'étude ?* En guise d'illustration transversale, cette dernière partie de chaque étape propose une synthèse des éléments saillants issus de la mise en œuvre concrète sur le cas d'un département IT d'entreprise. Elle vise à rendre tangibles les résultats globaux, à montrer de manière résumée les arbitrages effectués, et à ancrer les apports de la méthode dans un contexte réaliste.

Cette structuration en cinq questions appliquées à chacune des étapes de l'ACV permet deux modes de lecture complémentaires. Soit le lecteur suit un parcours linéaire, en abordant chaque étape successivement à travers les cinq questions, pour comprendre en détail le déroulement de la méthode O-LCA. Soit il choisit une lecture transversale, centrée sur une question spécifique à travers l'ensemble des étapes. Par exemple, parcourir uniquement les réponses à *En quoi consiste l'étape ?* permet d'obtenir une synthèse rapide de la logique et du déroulé de chaque étape. À l'inverse, un lecteur déjà familier avec l'O-LCA pourra se focaliser sur les réponses à *Quels sont les enjeux et difficultés identifiés ?*, afin de tirer parti des retours d'expérience propres à chaque phase.

## I. Définition des objectifs et du champ d'étude

### En quoi consiste l'étape ?

La première étape d'une O-LCA vise à définir clairement les objectifs de l'analyse ainsi que le périmètre étudié. Selon le guide officiel MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015, cette étape permet de cadrer l'évaluation, de préciser les attentes, de cibler les utilisateurs des résultats et de délimiter le système étudié. Les choix effectués à ce stade influencent l'ensemble de la suite de l'analyse.

Il s'agit de répondre aux questions suivantes pour définir les objectifs de l'analyse : *Pourquoi réaliser cette O-LCA ? À quelles questions cherchons-nous à répondre ? Qui en utilisera les résultats ? Que souhaitons-nous évaluer ?* Ce cadrage doit permettre d'assurer la pertinence, la transparence et la cohérence des résultats obtenus. Ensuite pour le périmètre de l'O-LCA, on définira l'organisation étudiée, la méthode de consolidation, la période de référence, le flux de reporting<sup>1</sup> et les frontières système qui seront prises en compte dans l'analyse (périmètre selon les étapes du cycle de vie, justification des exclusions et les limites de l'étude).

## De quoi avons-nous besoin pour cette étape ?

Cette étape repose principalement sur un travail de réflexion stratégique en amont de la modélisation. Elle nécessite avant tout une bonne compréhension du fonctionnement organisationnel, des services numériques déployés ainsi que de leurs usages. Il est également indispensable de mener des échanges avec les parties prenantes concernées afin d'identifier les objectifs visés par l'évaluation et les utilisateurs finaux des résultats.

Une autre compétence clé consiste à identifier les frontières pertinentes de l'analyse à l'échelle de l'organisation, en déterminant les activités, flux, équipements et données à inclure. Enfin, cette étape demande de s'appuyer sur une documentation précise relative à la structure de l'organisation, aux services numériques proposés, aux processus internes, ainsi qu'aux fournisseurs impliqués dans la chaîne de valeur numérique.

## Quelle est la forme des résultats obtenus ?

À l'issue de cette étape, l'analyse débouche sur un cadrage méthodologique structurant pour la suite de l'évaluation. Celui-ci formalise les objectifs de l'étude ainsi que les profils des utilisateurs finaux des résultats attendus. Il précise le périmètre retenu, à la fois sur le plan organisationnel (département concerné, structure analysée) et fonctionnel (services numériques couverts).

Le flux de reporting est défini de manière à assurer la cohérence avec les étapes suivantes : il s'accompagne d'une unité fonctionnelle adaptée aux spécificités du numérique, souvent exprimée en heures de service rendu, en nombre d'utilisateurs ou en activité supportée.

L'étape permet également de poser les frontières du système analysé, en précisant les étapes du cycle de vie prises en compte (de la fabrication à la fin de vie), les flux entrants et sortants considérés, ainsi que les exclusions retenues, justifiées par des contraintes méthodologiques ou de disponibilité des données.

Enfin, cette phase permet de faire un premier état des lieux des données mobilisables : leur disponibilité, leur qualité attendue, et leurs sources, qu'elles soient internes (données primaires) ou issues de bases de données génériques (données secondaires). L'ensemble de ces éléments constitue le socle à partir duquel pourra être construit un inventaire solide et cohérent lors de l'étape suivante.

## Quels sont les enjeux et difficultés identifiés ?

Cette première étape, bien que théorique, révèle des enjeux méthodologiques majeurs lorsqu'elle est appliquée à un système numérique :

---

1. Le flux de reporting mesure les services fournis par l'organisation sur une année. Il répond aux questions : *Quoi ? Combien ? Quelle qualité ? Quelle durée ?* (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2015).

- **Définir un flux de reporting pour des services immatériels** représente une difficulté majeure. Pour le numérique, il existe rarement de produit tangible dont la nature ou le volume permettrait une expression claire en tant qu'unité de sortie de l'entreprise, comme le nombre de jeans ou de jupes fabriqués par un producteur de vêtements, ou encore le nombre de patients soignés dans un hôpital. Les services numériques sont abstraits, partagés, et souvent invisibles. Dans notre cas, il a été nécessaire de construire un flux basé sur le nombre d'employés servis, les heures d'intervention IT, ou encore le nombre d'équipements gérés. Cette quantification reste perfectible et illustre l'un des principaux défis du numérique en ACV.
- **Identifier les frontières sur l'ensemble du cycle de vie** est également complexe. Les impacts environnementaux d'un système numérique se déploient largement en amont (fabrication, extraction de ressources) et en aval (fin de vie, gestion des déchets électroniques). L'exploitation des ressources et les émissions générées par les processus en amont (tels que l'acquisition de biens et de services) ou en aval (notamment la distribution des services et la gestion de la fin de vie des produits) peuvent avoir un impact aussi significatif, voire supérieur, à celui des activités internes de l'organisation dans son bilan environnemental global (PELLETIER et al., 2014). Il est donc essentiel de les intégrer à l'évaluation, en adoptant une approche complète *cradle-to-grave*, afin de ne pas sous-estimer les impacts générés hors du périmètre direct de l'organisation. Cependant, il convient de garder à l'esprit que l'organisation, réalisant l'évaluation, exerce une influence variable sur les acteurs impliqués dans les différentes étapes de sa chaîne de valeur. Comme illustré dans la figure 3.1, plus un acteur est éloigné dans la chaîne de valeur, plus il devient difficile d'obtenir des informations précises sur ses activités, et donc plus les frontières du cycle de vie deviennent floues. Il est, par exemple, plus aisé de recueillir des données auprès d'un fournisseur IT direct que d'un producteur de matières premières situé en amont de la chaîne.

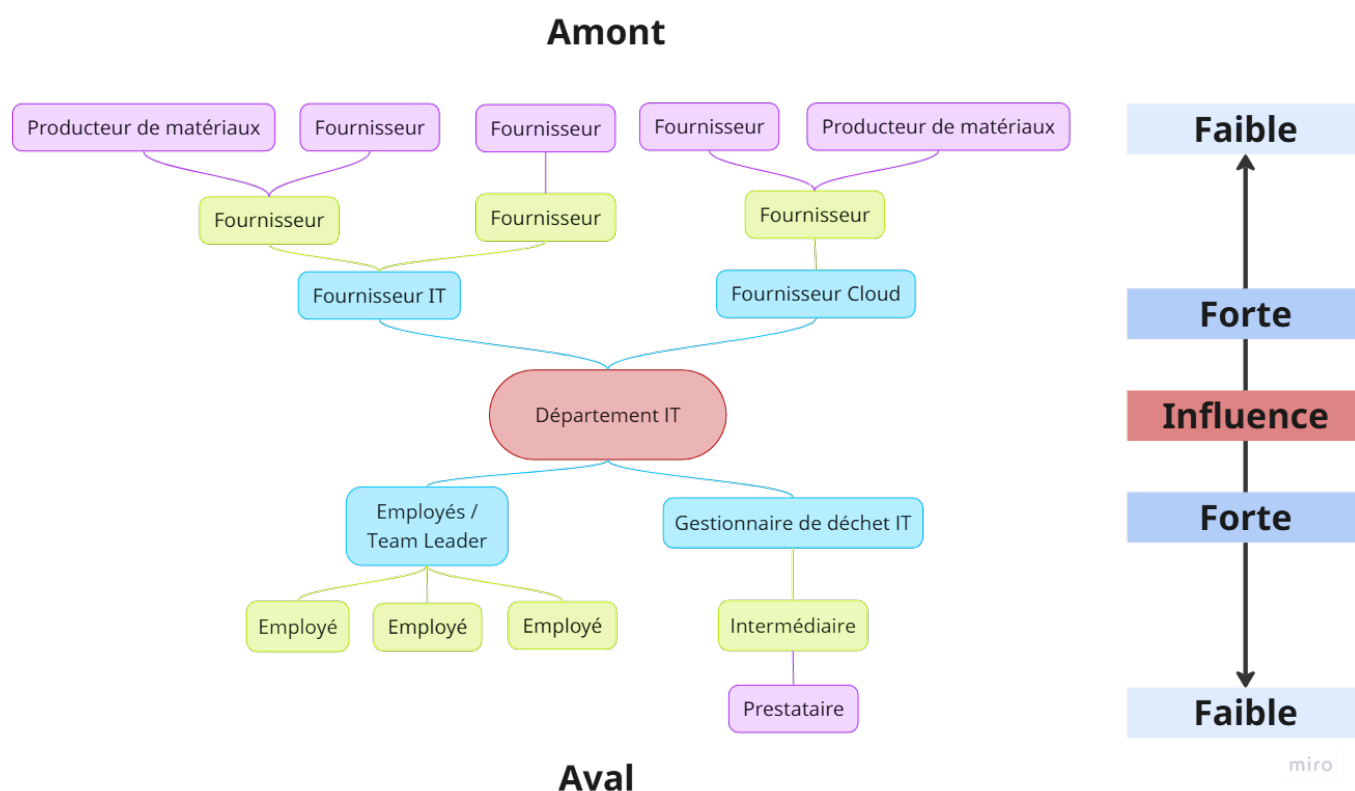


FIGURE 3.1 – Exemple simplifié de niveaux de fournisseurs dans la chaîne de valeur pour un département IT type

- **Distinguer les flux pertinents** parmi les multiples usages IT est un exercice de priorisation. L'IT supporte de nombreuses activités transversales et sert différents publics internes. L'enjeu est d'identifier et d'inclure les flux les plus impactants.
- **Délimiter le périmètre** est souvent complexe, notamment dans les organisations où les frontières entre services, usages ou infrastructures sont floues. L'arbitrage entre ce qu'on inclut ou pas doit être rigoureux.

## Comment cette étape a-t-elle été appliquée dans le cas d'étude ?

Dans notre étude, l'analyse porte sur un **département IT** d'une entreprise fictive belge d'une centaine d'employés, chargé de fournir des services numériques (applications internes, gestion du parc, infrastructures, support technique). Le flux de reporting est défini comme l'ensemble des services numériques délivrés à ces employés sur une période d'un an, exprimé en heures de travail, nombre d'équipements, et nombre de comptes cloud.

L'approche *cradle-to-grave* couvre les impacts environnementaux des équipements, logiciels et infrastructures, depuis leur fabrication jusqu'à leur fin de vie, en incluant leur usage. L'analyse intègre les flux entrants (équipements, énergie, cloud) et sortants (déchets électroniques, émissions).

Enfin, plusieurs exclusions ont été décidées (bâtiment, consommables, services annexes) afin de concentrer l'analyse sur les spécificités du numérique, tout en documentant clairement les limites de cette approche. Les données mobilisées sont issues de la littérature scientifique, de bases ACV (e.g. Base Empreinte) et de scénarios simplifiés construits pour ce cas.

L'analyse détaillée de cette première étape appliquée à l'étude de cas est **disponible en annexe B.1**.

## II. Analyse de l'inventaire du cycle de vie

### En quoi consiste l'étape ?

La deuxième étape d'une évaluation O-LCA consiste à établir l'inventaire du cycle de vie (*Life Cycle Inventory* – LCI) des activités couvertes par le périmètre défini. Elle vise à recenser l'ensemble des **flux entrants et sortants** associés au fonctionnement de l'organisation : consommation de ressources, achats de biens et de services, production de déchets, émissions directes ou indirectes, etc. Ces données constituent la base quantitative sur laquelle s'appuiera l'évaluation des impacts environnementaux (étape III).

Cette seconde étape implique de structurer les activités selon leur position dans la chaîne de valeur (directes, indirectes amont ou aval), puis de quantifier les flux associés à chaque processus ou service. Le guide officiel O-LCA MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015 recommande de distinguer les données spécifiques (mesurées ou directement collectées auprès de l'organisation) et les données génériques (issues de bases de données ACV ou de la littérature).

Il s'agit notamment de répondre aux questions : *Quelles sont les activités à inventorier ? Quelles données sont disponibles ? Quelles sont les priorités de collecte ? Comment organiser les flux en fonction du niveau de maîtrise de l'organisation ?*

### De quoi avons-nous besoin pour cette étape ?

La réalisation d'un inventaire pertinent repose sur plusieurs éléments :

Tout d’abord, une cartographie des **activités couvertes par le périmètre** de l’évaluation O-LCA, avec une structuration en activités directes (sous contrôle de l’organisation) et indirectes (fournisseurs, cycle de vie des équipements, etc.). Cette distinction aide à orienter les efforts de collecte et à répartir les responsabilités.

Ensuite, une capacité à identifier les **flux pertinents** : ressources utilisées, équipements achetés, énergie consommée, services numériques mobilisés, et émissions associées. L’inventaire doit intégrer les étapes clés du cycle de vie (obtention des matières premières, fabrication, usage, fin de vie).

La collecte de **données spécifiques**, même partielles, est fortement encouragée. Elle peut s’appuyer sur des audits internes, des données financières ou techniques, ou des retours des fournisseurs. Les données secondaires proviennent quant à elles de bases reconnues. On peut citer plusieurs bases de données multicritère sur le domaine du numérique telles que :

- **Base Empreinte** : La Base Empreinte est une base de données gratuite développée par l’ADEME, fournissant des facteurs d’émission pour l’évaluation des impacts environnementaux des activités, produits et services en France (ADEME, s. d.). La Base Empreinte fournit un haut niveau de traçabilité et de transparence sur ses données. Chaque jeu de données est accompagné :
  - d’indicateurs de qualité,
  - du niveau de validation scientifique,
  - des sources initiales et publications associées,

Un rapport méthodologique complet dédié aux données numériques est également publié (CONSORTIUM NEGAOCTET, 2022), ce qui permet d’utiliser ces données avec un degré de confiance élevé tout en identifiant les éléments à manipuler avec précaution.

- **RésilioDB** : RésilioDB est une plateforme payante développée pour l’évaluation environnementale des produits numériques. Elle repose sur les standards ISO 14040/44 et PEF<sup>2</sup> 3.0, et fournit des facteurs d’impact pour 16 indicateurs environnementaux (RESILIO, s. d.). Elle est dédiée aux équipements et services numériques. La base Résilio adopte une démarche similaire à celle de la Base Empreinte : sa méthodologie est publique et elle fournit un ensemble d’indicateurs permettant de juger de la qualité de chaque donnée mobilisée. Elle utilise des facteurs d’impacts reconnus et des méthodes de calculs approuvées (RESILIO, s. d.).
- **ecoinvent** : ecoinvent est une base de données payante internationale de référence pour les analyses de cycle de vie (ACV), fournissant des inventaires détaillés sur de nombreux produits et services (ECOINVENT, s. d.). La base ecoinvent est l’une des bases ACV les plus complètes et reconnues à l’échelle internationale. Elle offre un excellent niveau de détail sur chaque processus : origine, date, représentativité géographique et technologique, incertitudes, etc. Elle laisse aussi une grande liberté à l’utilisateur, toutefois, cette flexibilité suppose une bonne maîtrise des concepts méthodologiques de l’ACV. En effet, mal paramétrée ou mal interprétée, cette richesse peut devenir une source d’erreurs ou d’incohérences. Cela souligne l’importance de l’expertise requise pour tirer pleinement parti de cette base.

## Quelle est la forme des résultats obtenus ?

L’inventaire se matérialise sous forme de **tableaux de flux** organisés par activité, phase du cycle de vie ou catégorie d’équipements. Chaque ligne correspond à une entrée ou une sortie

---

2. Le *Product Environmental Footprint* ou PEF est une méthode pour évaluer l’impact environnemental d’un produit tout au long de son cycle de vie. Il est l’équivalent de l’OEF pour les produits.

mesurable (ex. : nombre de laptops achetés, kWh consommés, kilomètres parcourus, etc.).

Le niveau de détail des résultats dépend de la capacité à décrire les flux de manière différenciée. Il est possible d’organiser l’inventaire par poste (serveurs, laptops, cloud), par activité (support, développement, etc.), ou par entité organisationnelle.

Des outils peuvent permettre d’accompagner l’organisation dans la réalisation de son inventaire. La robustesse des résultats futurs dépend fortement de la fiabilité de l’outil utilisé et de la traçabilité des données collectées à ce stade. Selon les outils mobilisés, cet inventaire peut prendre des formes très différentes :

- Avec **monacvnumerique.fr** l’inventaire est fortement simplifié. L’outil ne demande pas à l’utilisateur de fournir un inventaire détaillé des flux ou équipements et ne requiert pas de base de données externe. À la place, il s’appuie sur un **questionnaire en 10 points par activité** (voir Figure 3.2) portant principalement sur l’infrastructure et les usages numériques. Le système déduit ensuite automatiquement les quantités d’équipements et les flux associés à partir de ces réponses (GLOBAL ECO CONCEPT, s. d.), en s’appuyant sur des **données internes floues et non modifiables**. Un second questionnaire de paramétrage général (voir Figure 3.3) permet de personnaliser certains aspects comme la durée de vie des équipements, le taux de télétravail ou la distance domicile-travail. Toutefois, cette phase d’inventaire reste très simple et ne permet pas de prendre en compte de manière détaillée certains éléments comme le parc IT (ordinateurs, écrans, périphériques), traité via des moyennes fixes intégrées à l’outil.

|        |                                              |            | 2024   | 2025  |
|--------|----------------------------------------------|------------|--------|-------|
| PROJET | Charges                                      | J/H        | 263    | 263   |
|        |                                              |            |        |       |
| USAGE  | Nombre d'utilisation par an                  | 123        | 450    | 450   |
|        | Nombre de pages moyen consultées par session | 123        | 25     | 25    |
|        | Temps moyen par session                      | min        | 60     | 60    |
|        | Taux d'usage en mobilité                     | %          | 30     | 30    |
|        | Type de contenu disponible                   |            | S      | S     |
|        |                                              |            |        |       |
| INFRA  | Nombre de serveurs                           | 123        | 0      | 0     |
|        | Type de serveurs                             |            | L      | L     |
|        | Nombre heures de disponibilité serveurs      | heures /an | 8716.2 | 8716. |
|        | Volume de stockage serveurs                  | To         | 48.24  | 48.24 |

FIGURE 3.2 – Questionnaire de l’outil monacvnumerique.fr complété pour une activité

| Afficher les paramètres du scénario |                                                        |              |      |      |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|------|------|
|                                     |                                                        |              | 2024 | 2025 |
| PARAMÈTRES DU SCÉNARIO              | Nombre de jours de travail par collaborateur           | jours/an     | 220  | 220  |
|                                     | Distance parcourue en voiture par collaborateur        | km/jour      | 26.6 | 20   |
|                                     | Fréquence de visite chez le(s) client(s)/partenaire(s) | visites/mois | 4    | 1    |
|                                     | Durée de vie d'un écran                                | ans          | 7    | 7    |
|                                     | Durée de vie d'un ordinateur portable                  | ans          | 4    | 4    |
|                                     | Superficie de travail/collaborateur                    | m²           | 12   | 10   |
|                                     | Taux de présentiel                                     | %            | 60   | 40   |
|                                     | Distance avec le(s) client(s)/partenaire(s)            | km           | 50   | 40   |
|                                     | Taux d'équipement véhicule hors thermique              | %            | 5    | 20   |
|                                     |                                                        |              |      |      |

FIGURE 3.3 – Paramétrage de l’organisation dans l’outil monacvnumerique.fr pour une activité

- Avec un **tableur Excel** développé spécifiquement pour l'évaluation, cela permet une **personnalisation totale**. On peut construire l'inventaire à partir des données disponibles dans la Base Empreinte, concernant les données manquantes, on peut utiliser des données ecoinvent. Nous privilégions les données de la Base Empreinte en raison de la représentation des données directement selon les **impacts finaux**. Cela est un atout pour un outil Excel maison permettant de simplifier la tâche au niveau des calculs et de la méthodologie. L'inventaire peut être réalisé en plusieurs étapes successives :

- Inventaire global du département IT (voir Figure 3.4) ;
- Différenciation entre les équipements du département IT et de l'entreprise ;
- Pondération et attribution des équipements aux différentes activités (voir Figure 3.5).

Cette structuration permettra une lecture des impacts environnementaux selon différents axes d'analyse.

| Inventaire                                    | Quantité | Unité :      |
|-----------------------------------------------|----------|--------------|
| REMARQUES :                                   |          |              |
| Unité 1 an                                    |          |              |
| <b>Liste équipements global</b>               |          |              |
| Laptop                                        | 110      | unité        |
| Compte MS365                                  | 100      | unité        |
| Smartphone                                    | 50       | unité        |
| Ecran                                         | 33       | unité        |
| Projecteur                                    | 5        | unité        |
| TV                                            | 10       | unité        |
| Imprimante                                    | 2535     | kg de papier |
| <b>Sous-total Parc IT</b>                     |          |              |
| <b>Sous-total Parc IT normalisé</b>           |          |              |
| <b>Infrastructure IT</b>                      |          |              |
| Serveur                                       | 5        | unité        |
| Switch                                        | 3        | unité        |
| Routeur                                       | 1        | unité        |
| <b>Sous-total Infrastructure IT</b>           |          |              |
| <b>Sous-total Infrastructure IT normalisé</b> |          |              |

FIGURE 3.4 – Inventaire des équipements du cas d'étude dans Excel

| Activités                                                 | Composition                 | % à impacter |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Remarque :                                                |                             |              |
| 1. Gestion des infrastructures IT                         | Parc IT (du département IT) | 23%          |
| <b>Sous-total de l'activité</b>                           |                             |              |
| <b>Sous-total de l'activité normalisé</b>                 |                             |              |
| 2. Gestion et administration du parc IT                   | Parc IT (du département IT) | 28%          |
|                                                           | Parc IT (de l'organisation) | 100%         |
| <b>Sous-total de l'activité</b>                           |                             |              |
| <b>Sous-total de l'activité normalisé</b>                 |                             |              |
| 3. Support aux utilisateurs                               | Parc IT (du département IT) | 15%          |
| <b>Sous-total de l'activité</b>                           |                             |              |
| <b>Sous-total de l'activité normalisé</b>                 |                             |              |
| 4. Développement et maintenance des applications internes | Parc IT (du département IT) | 34%          |
|                                                           | Infrastructure IT           | 100%         |
| <b>Sous division en applications</b>                      |                             |              |
|                                                           | Comptabilité+               | 8%           |
|                                                           | Clients+                    | 16%          |
|                                                           | RH+                         | 22%          |
|                                                           | Support+                    | 6%           |
|                                                           | Data+                       | 48%          |
| <b>Sous-total de l'activité</b>                           |                             |              |
| <b>Sous-total de l'activité normalisé</b>                 |                             |              |

FIGURE 3.5 – Inventaire du cas d'étude selon les activités dans Excel

- Pour l'outil **NumEcoEval**, il propose une approche rigoureuse avec des données par défaut issus de la Base Empreinte et Résilio. Si l'on souhaite enrichir les types d'équipements pris en compte, il est possible d'ajouter manuellement d'autres sources de données, mais cela reste techniquement complexe. L'inventaire se fait actuellement via des fichiers Excel à remplir en suivant un format structuré (voir Figure 3.6). L'outil permet également une **structuration avancée** des données selon le statut/entité de l'équipement et une présentation selon les activités. Cette structuration permet une lecture des impacts environnementaux selon différents angles d'analyse.
- Concernant les **logiciels ACV classiques** comme OpenLCA ou SimaPro, l'inventaire dans ces outils est extrêmement détaillé et suppose une modélisation fine de chaque flux, matière, processus et étape du cycle de vie. Les données sont généralement issues de bases comme ecoinvent et nécessitent d'être assemblées (fabrication, transport, usage, fin de vie). L'approche est rigoureuse mais chronophage, et nécessite des compétences méthodologiques avancées.

| nomEquipe  | modele        | quantite | nomCourtDa | dateAchat  | dateRetrait | type         | statut | paysDUt | lisa consoElecAr | utilisateur | nomSourceC    | nomEntite         |
|------------|---------------|----------|------------|------------|-------------|--------------|--------|---------|------------------|-------------|---------------|-------------------|
| laptop     | Laptop/ 14.5  | 8        |            | 01/01/2025 | 01/01/2029  | OrdinateurPi | Active | Belgium |                  | 31          | department IT | Parc IT           |
| smartphone | Smartphone    | 6        |            | 02/01/2025 | 01/01/2028  | Smartphone   | Active | Belgium |                  | 4           | department IT | Parc IT           |
| ecran      | Computer m    | 8        |            | 03/01/2025 | 01/01/2032  | Ecran        | Active | Belgium |                  | 54          | department IT | Parc IT           |
| tv         | Television/ 4 | 2        |            | 04/01/2025 | 01/01/2033  | Ecran        | Active | Belgium |                  | 179         | department IT | Parc IT           |
| imprimante | Professional  | 1        |            | 05/01/2025 | 01/01/2029  | Imprimante   | Active | Belgium |                  |             | department IT | Parc IT           |
| serveur    | Rack server / | 5        |            | 06/01/2025 | 01/01/2030  | ServeurCalcu | Active | Belgium |                  | 3215        | department IT | Infrastructure IT |
| switch     | Switch/Route  | 3        |            | 07/01/2025 | 01/01/2030  | Switch       | Active | Belgium |                  | 91          | department IT | Infrastructure IT |
| routeur    | Switch/Route  | 1        |            | 08/01/2025 | 01/01/2030  | Router       | Active | Belgium |                  | 91          | department IT | Infrastructure IT |
| laptop     | Laptop/ 14.5  | 102      |            | 01/01/2025 | 01/01/2029  | OrdinateurPi | Active | Belgium |                  | 31          | entreprise    | Parc IT           |
| smartphone | Smartphone    | 44       |            | 02/01/2025 | 01/01/2028  | Smartphone   | Active | Belgium |                  | 4           | entreprise    | Parc IT           |
| ecran      | Computer m    | 25       |            | 03/01/2025 | 01/01/2032  | Ecran        | Active | Belgium |                  | 54          | entreprise    | Parc IT           |
| tv         | Television/ 4 | 8        |            | 04/01/2025 | 01/01/2033  | Ecran        | Active | Belgium |                  | 179         | entreprise    | Parc IT           |
| imprimante | Professional  | 2        |            | 05/01/2025 | 01/01/2029  | Imprimante   | Active | Belgium |                  |             | entreprise    | Parc IT           |

FIGURE 3.6 – Inventaire des équipements du cas d’étude sous Excel pour l’outil NumEcoEval

## Quels sont les enjeux et difficultés identifiés ?

Plusieurs enjeux spécifiques apparaissent lorsqu’on applique cette étape à une organisation numérique :

- **Organiser les flux par service numérique.** Afin de rendre les étapes suivantes plus faciles (analyse plus compréhensible et identification au mieux des points chauds environnementaux), nous proposons d’étudier l’organisation à travers les différents services numériques qu’elle fournit. L’impact environnemental global de l’organisation et donc des ses flux entrants ou sortants est **partagé/pondéré entre ses services** en croisant deux types d’informations principales : le **temps de travail** des membres de l’équipe IT alloué à chaque service, et la **nature et quantité de matériel numérique mobilisé** pour chaque service (ordinateurs, serveurs, périphériques, etc.). Cette approche permet une répartition raisonnable et cohérente des impacts environnementaux en fonction de l’intensité d’usage de chaque service.
- **Distinguer les flux directs et indirects.** Une difficulté majeure réside dans la capacité à distinguer les flux sous contrôle de l’organisation (directs) et ceux qui relèvent des fournisseurs (amont, fabrication) ou du traitement des déchets (aval). Cette distinction est cruciale pour identifier les leviers d’action. Elle nécessite une bonne connaissance de la chaîne de valeur, parfois difficile à obtenir dans une première analyse.
- **Prioriser les efforts de collecte.** Tous les flux n’ont pas la même importance environnementale et certaines informations peuvent s’avérer plus difficiles à collecter ou moins fiables. Il est donc nécessaire d’opérer une **priorisation** afin d’identifier les activités ou équipements dont la contribution potentielle à l’empreinte environnementale est suffisamment significative pour justifier un **effort de collecte renforcé**. Avant toute exclusion de poste ou de flux, il convient de se référer aux **recommandations méthodologiques** du guide O-LCA. Celui-ci stipule qu’aucune activité ne peut être omise si elle présente un caractère :
  - énergivore,
  - potentiellement à fort impact environnemental,
  - ou financièrement significative (poste de coût ou de revenu important).

En conséquence, certaines exclusions ponctuelles (par exemple le réseau interne, certains périphériques secondaires ou la fin de vie de certains composants) peuvent être **tolérées** si elles sont dûment justifiées. À l’inverse, des éléments tels que les services cloud (ex. Microsoft 365) ou les impacts liés aux serveurs doivent faire l’objet d’une modélisation **plus rigoureuse**, car la littérature scientifique souligne leur poids non négligeable dans le bilan environnemental du numérique (THOMAS et al., 2025). On va également aborder la priorisation suivant deux critères principaux : l’**impact environnemental présumé** et la **consommation énergétique associée** en cohérence avec les recommandations des



normes ISO 14044 (ISO, 2006b) ainsi que des référentiels du WRI<sup>3</sup> et du WBCSD<sup>4</sup> (WRI AND WBCSD, 2011). Selon les analyses sectorielles les plus récentes, notamment le rapport conjoint de l'ADEME et de l'Arcep sur l'empreinte environnementale du numérique en France (ADEME et ARCEP, 2022), deux postes ressortent comme étant particulièrement prioritaires suivant ces critères :

- **Les équipements du parc IT** (ordinateurs portables, écrans, etc.), en raison de leur nombre élevé, de leur renouvellement rapide, de leur consommation énergétique et de l'utilisation de ressources rares (métaux critiques) au cours de leur fabrication.
- **Les serveurs et infrastructures associées**, notamment ceux hébergeant les services et applications internes. Fonctionnant en continu (24h/24, 7j/7), ils présentent une consommation énergétique importante, à laquelle s'ajoute un impact conséquent lié à leur phase de fabrication.

Ces deux catégories sont dès lors identifiées comme les postes à fort impact potentiel et doivent faire l'objet d'un effort renforcé en matière de collecte et de données.

- **Mobiliser des données pertinentes.** Les données primaires sont souvent rares ou mal structurées dans les organisations peu matures sur ces sujets. L'enjeu est alors de trouver un équilibre entre données spécifiques disponibles et recours à des bases secondaires fiables. Cela pose également la question de la qualité des données, analysée en détail à la fin de cette étape. Pour le domaine du numérique, trouver des bases de données secondaires multicritères n'est pas des plus faciles. Pour la plupart elles sont payantes ou ne contiennent que des données basiques et génériques pas toujours adaptées à tous les types d'organisation numérique. Les bases de données présentées (Base Empreinte, Resilio, ...) sont tout de même de bons candidats avec des données relativement récentes et des méthodologies de collecte et de calculs solides et transparentes. Ces bases de données couvrent les équipements de base offrant une première approximation de l'empreinte numérique de son organisation.

## Comment cette étape a-t-elle été appliquée dans le cas d'étude ?

Dans notre étude, les flux ont été divisés selon les quatre activités directes suivantes :

- Gestion des infrastructures IT,
- Gestion du parc informatique,
- Support aux utilisateurs et
- Développement et maintenance des applications internes.

Pour chaque activité, les flux entrants (équipements, énergie, services cloud) et sortants (déchets, émissions) ont été recensés. L'inventaire a été structuré selon les spécificités des trois outils mobilisés : *monacvnumerique.fr*, *Excel maison* et *NumEcoEval*. Ces approches ont permis d'illustrer les différences de précision, d'effort de collecte et de types de résultats obtenus selon les outils.

L'analyse détaillée de cette étape appliquée à l'étude de cas est **disponible en annexe B.2**.

---

3. WRI : *World Resources Institute*

4. WBCSD : *World Business Council for Sustainable Development*

### III. Évaluation des impacts du cycle de vie

#### En quoi consiste l'étape ?

L'évaluation des impacts du cycle de vie (LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*) constitue la troisième étape de la méthodologie O-LCA. Elle vise à convertir les flux recensés lors de l'inventaire (quantités d'énergie consommée, équipements achetés, etc.) en **impacts environnementaux potentiels**.

Cela se fait à l'aide de méthodes de calcul qui traduisent chaque flux en indicateurs d'impact (e.g. kg équivalent CO<sub>2</sub>, kg équivalent antimoine, etc.). Ces indicateurs sont ensuite agrégés par **catégorie d'impact** (changement climatique, acidification, eutrophisation, etc.), ce qui permet une lecture multicritère des effets environnementaux générés.

L'évaluation est donc le passage entre la description technique des activités (quantité de serveurs, kWh, etc.) et une lecture environnementale synthétique des impacts générés. Cette étape permet ainsi de transformer les données/flux en résultats prêt à être analysés et interprétés.

#### De quoi avons-nous besoin pour cette étape ?

Cette étape repose d'abord sur la sélection de **catégories d'impact environnemental**, qui définissent les types de dommages à évaluer à partir des flux d'inventaire (par exemple : changement climatique, acidification, eutrophisation, toxicité humaine). Le choix de ces catégories, en lien avec les enjeux de l'organisation, conditionne fortement la lecture et l'interprétation des résultats. Dans la littérature, il n'existe pas encore de consensus universel sur les catégories d'impact à retenir spécifiquement pour le domaine du numérique. Différentes études et référentiels proposent des jeux de critères variables selon les objectifs visés, les outils utilisés et la granularité recherchée. Néanmoins, un certain accord émerge autour de l'utilisation des **critères EF** (*Environmental Footprint*), développés par la Commission Européenne. Ces 16 indicateurs multicritères sont conçus pour fournir une évaluation environnementale robuste, standardisée et cohérente des produits, services ou organisations dans tous les secteurs, y compris le numérique (DAMIANI et al., 2022). Ces critères incluent notamment :

- le changement climatique,
- l'acidification,
- l'eutrophisation (terrestre, marine, eau douce),
- la toxicité (humaine, aquatique),
- les radiations ionisantes,
- l'épuisement des ressources (fossiles et abiotiques),
- la consommation d'eau,
- la formation de particules fines, etc.

La méthodologie O-LCA, tout comme de nombreux outils et bases de données actuels, **recommande fortement l'usage des critères EF** comme cadre de référence pour une évaluation multicritère robuste. Toutefois, en pratique, **tous les critères EF ne sont pas toujours pertinents** dans une analyse centrée sur le numérique. Une revue croisée des principales sources scientifiques et institutionnelles (THOMAS et al., 2025, BUREAU VERITAS et al., 2021, BORDAGE, 2019, DERAM, 2021) montrent qu'un **noyau dur de cinq catégories** est systématiquement retenu comme essentiel :

- le changement climatique,
- les émissions de particules fines,

- les radiations ionisantes,
- l'acidification,
- l'épuisement des ressources (fossiles et abiotiques).

Une **méthode de caractérisation** est ensuite nécessaire pour transformer les flux élémentaires issus de l'inventaire (kg de cuivre, MJ d'énergie fossile, g de particules fines, etc.) en contributions quantifiables à chacune de ces catégories. Chaque méthode repose sur des facteurs de conversion scientifiques, appelés facteurs de caractérisation, qui traduisent l'intensité d'un flux sur un impact donné. Quand on choisit d'utiliser les **critères d'impact EF** de la Commission Européenne (voir section précédente), il est cohérent d'adopter également la **méthode de caractérisation EF**, conçue spécifiquement pour ces critères. Celle-ci repose sur un travail de sélection multicritère rigoureux. Pour chaque catégorie d'impact, la méthode EF retient le modèle de calcul jugé le plus pertinent, au terme d'une revue scientifique approfondie de la robustesse méthodologique, de la couverture des flux et de la compatibilité avec les bases de données d'inventaire les plus courantes. Ce travail est mis à jour régulièrement ; la version la plus récente est la **version EF 3.1 (juillet 2022)** (ANDREASI et al., 2023). L'intérêt principal de cette méthode réside dans sa **cohérence scientifique** et sa **standardisation à l'échelle européenne**, qui en font aujourd'hui un cadre de référence largement promulgué par la méthodologie O-LCA, et reconnu par les principales bases de données environnementales (ecoinvent, Base Empreinte, etc.)

Enfin pour réaliser cette troisième étape, nous avons besoin d'un **outil d'évaluation** servant de moteur de calcul. L'outil applique la méthode de caractérisation choisie à l'ensemble des données de l'inventaire, en structurant les résultats selon les catégories retenues. Il garantit ainsi la cohérence méthodologique, facilite la comparaison des résultats et permet de visualiser les principaux postes d'impact environnemental en sortie de l'analyse.

## Quelle est la forme des résultats obtenus ?

Les résultats prennent la forme de tableaux ou de graphiques, où chaque activité ou poste d'inventaire est associé à un ou plusieurs indicateurs environnementaux (ex. émissions de GES, consommation de ressources, particules fines, etc.).

Chaque outil présente une sortie différente :

**monacvnumerique.fr** affiche les résultats selon les cinq catégories jugées prioritaires pour le numérique :

- changement climatique,
- émissions de particules,
- acidification,
- radiations ionisantes,
- épuisement des ressources.

L'outil se base sur les critères normés EF et sa méthode de caractérisation associée.

**NumEcoEval** suit la même logique de la norme EF pour les critères et la méthode de caractérisation avec la possibilité d'agrandir le nombre de critères pris en compte en enrichissant les bases de données sur lequel l'outil se base.

Pour l'**outil Excel maison** nous conseillons d'utiliser la Base Empreinte qui présente déjà ses données avec les 16 catégories EF. Il n'est donc pas nécessaire d'appliquer soi-même une méthode de calcul, la base l'a déjà fait. L'utilisateur peut ainsi sélectionner les catégories qu'il souhaite conserver ou non pour l'analyse finale des résultats.

## Quels sont les enjeux et difficultés identifiés ?

Plusieurs enjeux spécifiques apparaissent lorsqu'on applique cette étape à une organisation numérique :

- Le choix des **catégories d'impact** n'est pas neutre. Pour notre part, sur recommandation d'**Olivier Talon** (expert ACV chez Materia Nova), nous conseillons de **conserver l'ensemble des 16 catégories EF** tout au long de la phase d'inventaire, de calcul et d'évaluation. Ce n'est qu'en phase finale, lors de l'interprétation des résultats, que nous avons procédé à une sélection des catégories d'impact pertinentes. Ce tri a été opéré selon deux critères :

- la significativité des résultats obtenus (poids relatif dans l'impact global).
- la fiabilité méthodologique des données disponibles pour chaque catégorie.

Cette approche progressive permet de **ne pas exclure trop tôt** des impacts potentiellement pertinents, tout en assurant une **présentation finale lisible et actionnable**. Un trop grand nombre de catégories nuit à la compréhension et à l'appropriation des résultats, notamment dans une optique de sensibilisation ou de prise de décision stratégique.

- **Limite spécifique au domaine du numérique** : le cas des ressources abiotiques<sup>5</sup>. L'adaptation de la méthode EF au secteur du numérique doit toutefois être envisagée avec prudence, en particulier pour certaines catégories critiques. Un **point d'attention majeur** concerne la catégorie « *Épuisement des ressources abiotiques – minéraux et métaux* », essentielle pour évaluer les pressions sur les matières premières non renouvelables. Cette catégorie est d'autant plus stratégique dans le domaine du numérique que les équipements informatiques reposent massivement sur l'utilisation de métaux rares, stratégiques et critiques : tantale, indium, gallium, cobalt, lithium, ainsi que des terres rares comme le néodyme ou le praséodyme. Bien que présents en quantités infimes dans chaque équipement, ces matériaux sont indispensables au bon fonctionnement de nombreux composants (batteries, disques durs, circuits miniaturisés, écrans, etc.). Or, dans la méthode EF, cette catégorie repose sur le modèle ADP (Abiotic Depletion Potential) issu de la méthode de caractérisation CML 2002 (VAN OERS et al., 2002), dans sa version 4.8 datant de 2016. Ce modèle calcule le potentiel d'épuisement d'un matériau à partir de ses réserves géologiques estimées, pondérées par les taux actuels d'extraction. Deux limites majeures émergent alors :

- D'une part, **la couverture de certains métaux critiques reste incomplète** : plusieurs terres rares, pourtant essentielles dans le numérique, sont absentes ou mal représentées dans les bases d'inventaire comme ecoinvent, qui utilisent des modules génériques (ex : "ordinateur portable") sans ventilation élémentaire détaillée ;
- D'autre part, le modèle ADP ne prend en compte **que la rareté géologique**, sans intégrer d'autres dimensions de la criticité des ressources, telles que la dépendance géopolitique, la substituabilité, la difficulté de recyclage ou les risques sociaux liés à l'extraction.

Cette double limite à la fois au niveau des inventaires et de la méthode de caractérisation entraîne un **risque de sous-estimation** des pressions exercées par le numérique sur certaines ressources stratégiques.

- **Perspectives : vers des indicateurs alternatifs ou complémentaires**. Dans une analyse environnementale appliquée au numérique, il peut donc sembler pertinent de

---

5. « L'épuisement des ressources abiotiques (ADP - Abiotic Depletion Potential) est l'un des quatre indicateurs environnementaux utilisés par le Green IT pour mesurer l'empreinte environnementale du numérique. L'ADP permet d'évaluer l'épuisement des stocks de minerais, il est exprimé en kg équivalent antimoine (kg eq. SB). » (INSTITUTE FOR SUSTAINABLE IT, 2022)

**complémenter la méthode EF** par d'autres indicateurs spécialisés sur les ressources critiques, afin d'obtenir une vision plus complète. Plusieurs approches peuvent être mobilisées :

- l'indicateur **Critical Raw Materials (CRM)** développé par l'UE ;
- la méthode **ESSENZ**, qui pondère l'impact des matériaux selon leur criticité stratégique ;
- ou encore des **analyses de criticité multi-dimensionnelle** (approvisionnement, substitution, impact social, etc.).

Ces méthodes restent aujourd'hui marginales dans les outils standards, mais elles représentent une piste sérieuse d'évolution pour améliorer la prise en compte des enjeux liés à l'extraction des matériaux dans le numérique.

## Comment cette étape a-t-elle été appliquée dans le cas d'étude ?

Dans notre étude, les résultats d'impact ont été obtenus à partir de trois outils. Les deux premiers (*monacvnumerique.fr* et *NumEcoEval*) appliquent directement cinq indicateurs EF jugés prioritaires dans le secteur, facilitant l'analyse pour des non-experts mais limitant l'exhaustivité. À l'inverse, notre *outil Excel* conserve les 16 indicateurs EF jusqu'à l'étape finale, permettant une évaluation complète avant de ne retenir que les plus pertinents. Ce choix offre davantage de transparence et de rigueur analytique.

Les résultats de l'*outil Excel*, développé dans le cadre du travail, ont confirmé la pertinence des cinq critères EF prioritaires. Ces critères ont été retenus dans la restitution finale pour leur lisibilité, leur cohérence scientifique et leur pertinence environnementale. Des indicateurs alternatifs comme CRM ou ESSENZ, bien que pertinents, n'ont pas pu être intégrés, les outils utilisés ne les supportant pas.

L'analyse détaillée de cette étape appliquée à l'étude de cas est **disponible en annexe B.3**.

## IV. Interprétation des résultats

### En quoi consiste cette étape ?

La quatrième et dernière étape d'une O-LCA consiste à interpréter les résultats obtenus lors des phases précédentes (inventaire et évaluation des impacts). Il s'agit de les analyser de manière critique, de dégager les enseignements pertinents pour l'organisation, et de les relier aux objectifs définis initialement.

Cette phase permet notamment d'identifier les principaux postes d'impact environnementaux (hotspots) et d'évaluer la robustesse des résultats obtenus (qualité des données, incertitudes). L'interprétation fournit ainsi une base concrète pour soutenir la prise de décision et l'amélioration continue de la performance environnementale de l'organisation.

Dans le cadre d'une O-LCA appliquée à une organisation numérique, cette étape prend une **dimension stratégique** : elle doit permettre à l'organisation de **comprendre les implications environnementales** de ses pratiques numériques et de **dégager des pistes d'amélioration** pertinentes au regard de ses priorités.

## De quoi avons-nous besoin ?

Pour interpréter concrètement les résultats, plusieurs éléments sont indispensables : les résultats d'impact multicritères issus de la phase précédente, des outils ou interfaces de visualisation facilitant l'exploration des données (graphiques, tableaux croisés, comparaisons par axe) et une capacité à décomposer les impacts selon plusieurs axes : cycle de vie, type d'équipement, type de service, etc.

Pour réaliser une interprétation pertinente, il est indispensable de disposer, au-delà des résultats d'impact agrégés, d'éléments permettant d'en évaluer la robustesse et les limites. Cela inclut notamment :

- **Des informations sur la qualité et l'incertitude des données** : comme évoqué dans l'analyse de l'inventaire, certaines données utilisées peuvent reposer sur des bases génériques, des moyennes sectorielles ou des hypothèses simplificatrices (durée de vie, usage typique, répartition des flux numériques). Il est donc nécessaire d'identifier les postes ou catégories d'impact dont les résultats pourraient être affectés par des incertitudes importantes.
- **Un retour explicite sur les hypothèses de modélisation** : certaines décisions prises en amont (structure du système étudié, exclusions, règles d'allocation, facteurs d'émission) peuvent avoir un effet significatif sur les résultats sans apparaître dans les indicateurs finaux. Une relecture critique de la construction du modèle est donc essentielle pour détecter d'éventuels biais structurels.
- **Des scénarios de tests de sensibilité** : pour juger de la stabilité des résultats, il peut être utile d'explorer des variations de paramètres clés, comme la durée de vie des équipements, les taux d'usage des serveurs, ou les profils énergétiques associés à certaines localisations. Ces tests permettent d'évaluer si les conclusions générales tiennent dans une fourchette de conditions plausibles, ou si elles dépendent fortement de certains paramètres incertains.
- **Des outils d'aide à la priorisation** : dans le cas où certaines incertitudes sont trop importantes, plusieurs options doivent être envisagées : exclusion temporaire des résultats concernés, amélioration du jeu de données (par itérations futures), ou analyse qualitative permettant de mieux cerner les ordres de grandeur. Ces choix doivent être faits de manière transparente et documentée.

Ces éléments sont essentiels pour identifier les limites d'interprétation, renforcer la crédibilité des recommandations formulées, et guider la consolidation progressive de l'analyse environnementale à travers une logique d'amélioration continue.

## Quelle est la forme des résultats obtenus ?

L'analyse peut s'effectuer à **deux niveaux** : d'une part à l'échelle globale du département IT, et d'autre part à l'échelle des différents services qu'offre un département. À chaque niveau, les résultats peuvent être décomposés par exemple selon les **différentes phases du cycle de vie** (fabrication, utilisation, fin de vie), selon les **différents postes d'émissions** (terminaux utilisateurs, centre de données, réseau interne), etc. Cela permet d'identifier les principaux contributeurs aux impacts environnementaux et d'orienter des pistes d'amélioration pertinentes.

Les différents outils présentent les résultats d'une O-LCA appliquée au numérique sous des formes variées. Les résultats prennent généralement la forme de graphiques d'impact (par critère environnemental), accompagnés de tableaux de synthèse mettant en évidence les contributions par poste (ex. : terminaux, serveurs, services cloud). Les outils offrent des possibilités

différentes selon le niveau d'analyse souhaité dans son organisation. Nous allons illustrer les types de visualisations, de décompositions et d'enseignements que peut fournir une analyse bien construite.

## Analyse à l'échelle globale du département IT

- **monacvnumerique.fr** ne permet pas une analyse globale de l'organisation. L'outil est conçu pour évaluer des services numériques pris individuellement, et ne propose pas de consolidation à l'échelle d'un département ou d'une organisation entière.
- **NumEcoEval** propose en revanche une interface très riche pour une analyse globale. Les résultats de cet outil sont exprimés en *équivalent habitant européen*<sup>6</sup>, ce qui facilite la compréhension des ordres de grandeur. Les résultats peuvent être décomposés :
  - par phase du cycle de vie comme illustré à la figure 3.7 où on y voit la contribution des différents étape du cycle (cf. légende de couleur) par critère d'impact,
  - par type d'équipement illustré à la figure 3.8 où on voit les contributions des différents équipements (cf. légende de couleur) à ces mêmes critères d'impact (sans regroupement explicite par tiers<sup>7</sup>),
  - par entité (parc IT, infrastructure),
  - par statut (actif, stock, etc.),
  - ou encore par pays dans le cas d'organisations multisites.

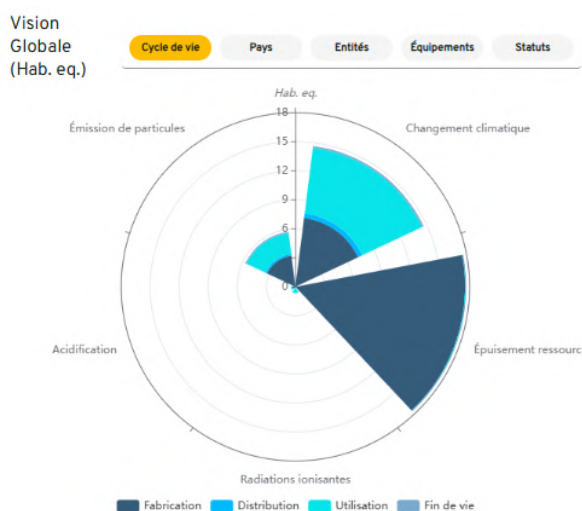


FIGURE 3.7 – Graphique d'impact suivant les phases du cycle de vie pour l'outil NumEcoEval

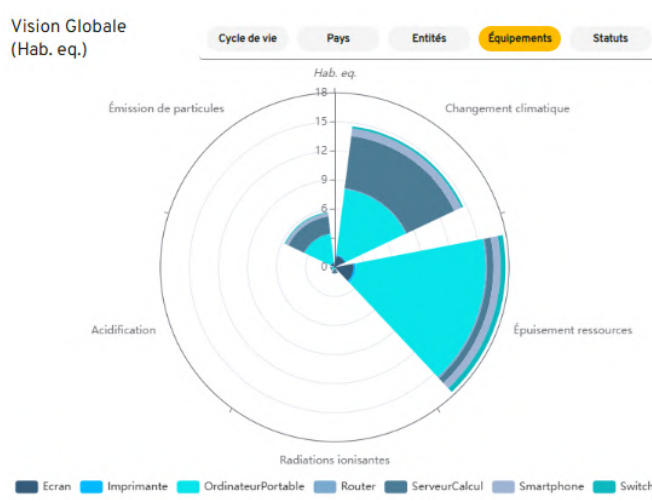


FIGURE 3.8 – Graphique d'impact suivant les types d'équipements pour l'outil NumEcoEval

Ces différentes analyses sont disponibles globalement pour les cinq indicateurs d'impact comme présenté en figures 3.7 et 3.8 ou individuellement pour chaque indicateur. Le cas d'analyse par critère individuel est illustré à la figure 3.9 pour le critère du *Changement climatique* (avec le cas des contributions par type équipement). De plus, l'interface

6. L'unité « équivalent habitant européen » est une unité de normalisation utilisée en évaluation environnemental pour exprimer les impacts d'un système en les rapportant à l'impact moyen annuel d'un citoyen européen.

7. La division en trois catégories d'équipements numériques aussi appelé "Tiers" est une pratique largement répandue dans le domaine de l'analyse environnemental du numérique. De nombreux guides, méthodes, articles scientifiques reconnus procèdent de la sorte (BORDAGE, 2019, BUREAU VERITAS et al., 2021 et THOMAS et al., 2025)

interactive de *monacvnumerique.fr* permet une exploration aisée (survol des données, sélection/désélection de catégories, affichage d'informations complémentaires comme la durée de vie moyenne ou la consommation électrique).

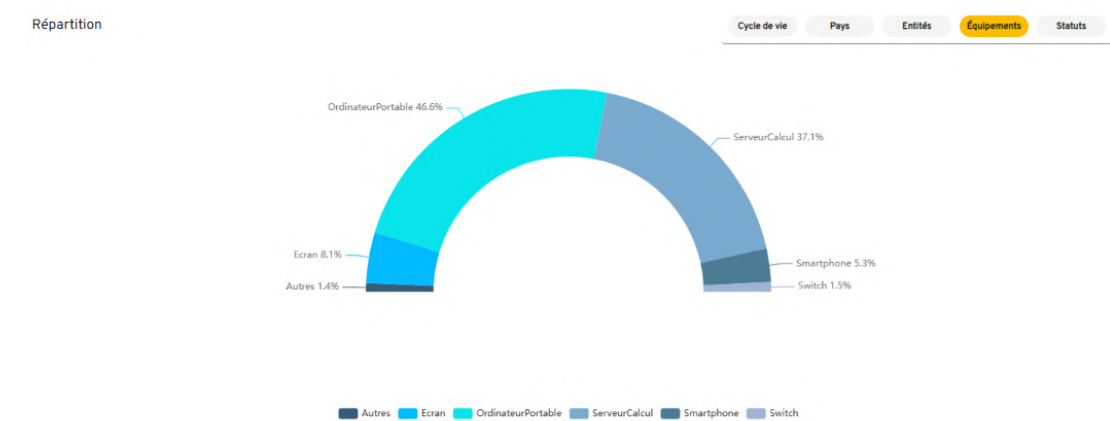


FIGURE 3.9 – Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour le critère *Changement climatique* pour l’outil NumEcoEval

- **L’outil maison sous Excel** permet également une analyse globale pertinente bien que moins ergonomique et automatisé. A titre d’exemple, voici des représentations typiques :
  - l’impact total de l’organisation selon un ou plusieurs critères illustrés (voir Figure 3.10),
  - la répartition des impacts par équipement (voir Figure 3.11), entité, ou statut par critère individuel,
  - la répartition d’impact des équipements par critère (voir Figure 3.12) et des critères par équipement.

Les représentations sont entièrement personnalisables mais nécessitent rigueur méthodologique et créativité du côté du concepteur de l’outil pour assurer leur validité. Elles peuvent être présentées en valeurs absolues ou rapportées à des données normalisées (par équivalent habitant).

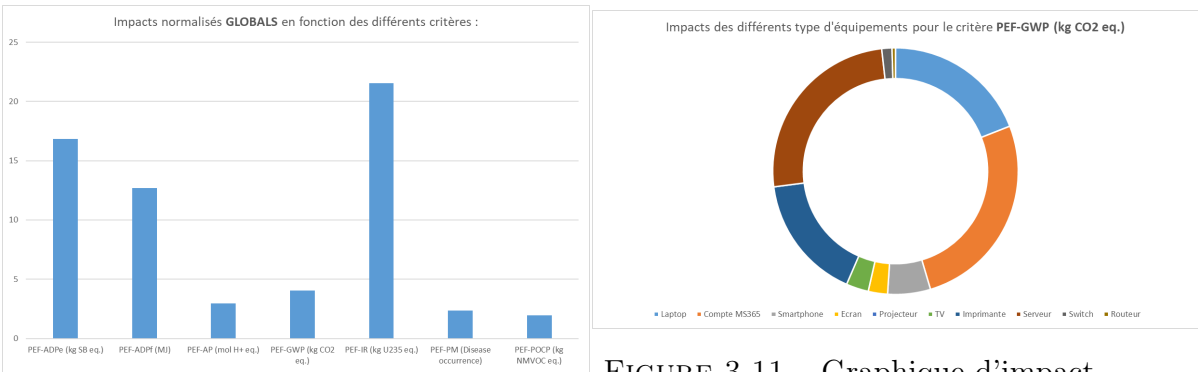


FIGURE 3.10 – Graphique d’impact total suivant les différents critères pertinents pour l’outil maison

FIGURE 3.11 – Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour le critère *Changement climatique* pour l’outil maison



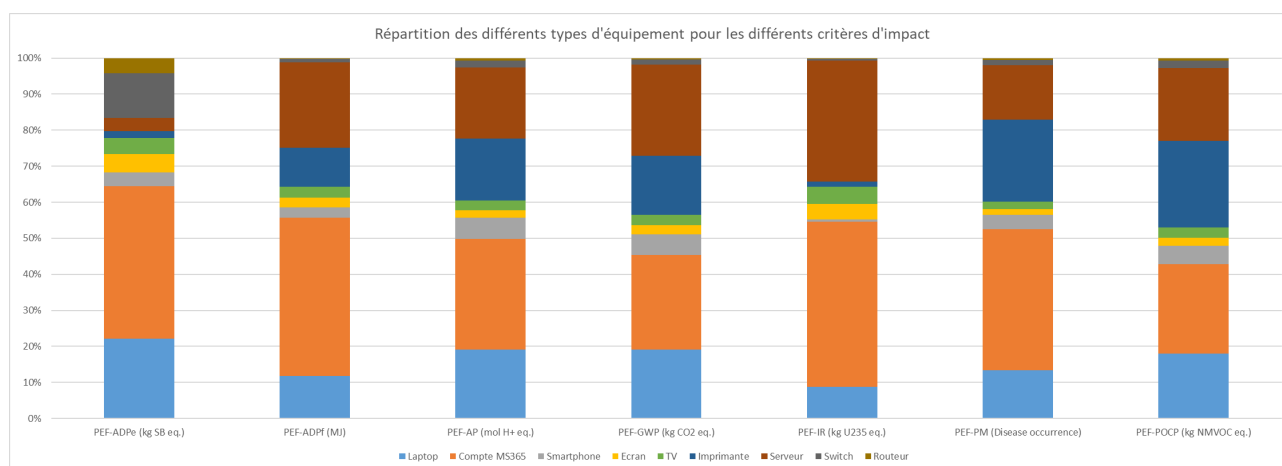


FIGURE 3.12 – Graphique de répartition des impacts suivant les types d'équipements pour chaque critère pour l'outil maison

Ces approches globales permettent d'identifier les principaux postes d'impact selon différents axes. Toutefois, elles ne permettent pas de localiser précisément les points critiques au sein de l'organisation. C'est pourquoi une analyse plus fine, centrée sur les différents services numériques qu'offre l'organisation, peut s'avérer plus pertinente pour orienter des actions ciblées. Dans cette optique, nous présentons ci-dessous une analyse équivalente, cette fois selon l'axe des services fournis, pour chacun des trois outils.

### Analyse par service fourni (approche fonctionnelle)

- **monacvnumerique.fr** excelle dans cette approche fonctionnelle. Il permet une évaluation de chaque service numérique (généralement une application ou un usage spécifique), avec une double visualisation :
  - une première vue croisée par poste technique (poste de travail, réseau, datacenter, organisation humaine, terminaux utilisateur) et par indicateur d'impact, permettant une lecture synthétique des contributions par poste et par critère (illustré ici en figure 3.13 pour un des services du cas d'étude, *Gestion des infrastructures IT*),
  - une seconde vue spécifique à chaque indicateur d'impact, affichant l'évolution du service au fil des années, ce qui facilite l'analyse de sa progression environnementale dans le temps.

Les résultats sont également exprimés en équivalent habitant européen. L'outil est davantage orienté vers l'analyse comparative temporelle (suivi d'un même service) que vers la comparaison directe entre services. Chaque service est affiché individuellement, ce qui limite les comparaisons croisées. En revanche, l'outil est très pédagogique, avec de nombreuses explications pour interpréter les résultats.



FIGURE 3.13 – Graphique de répartition des impacts suivant les types d'équipements pour chaque critère, pour le service *Gestion des infrastructures IT* du cas d'étude, pour l'outil monacvnumerique.fr

- **NumEcoEval** propose une représentation exclusivement par application<sup>8</sup>. Toutefois, cette analyse reste partielle : elle ne concerne que les serveurs hébergeant les applications, sans intégrer toute l'infrastructure nécessaire à leur fonctionnement. La visualisation est limitée à l'impact des applications suivant les critères globaux (voir Figure 3.14) ou individuellement.

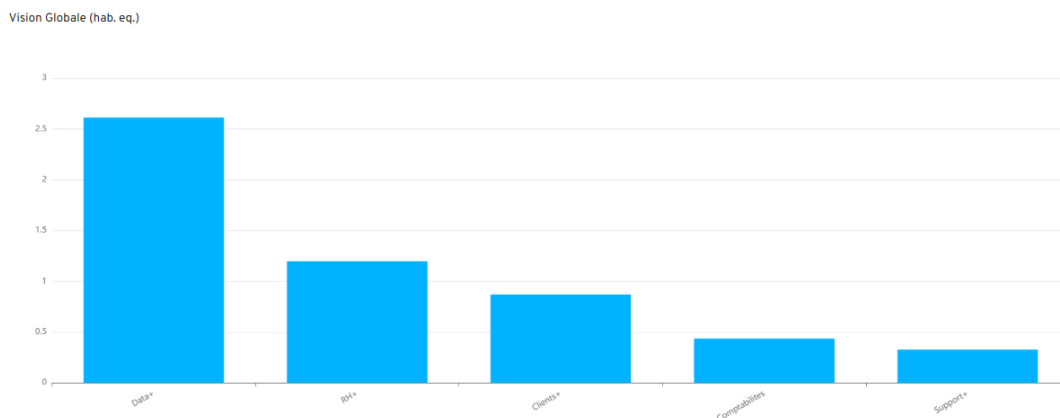


FIGURE 3.14 – Graphique d'impact selon les applications pour l'outil NumEcoEval

- **L'outil maison sous Excel** permet une flexibilité totale dans la représentation des impacts selon les services de l'organisation. Les services peuvent se traduire dans l'outil comme des regroupements proportionnels d'équipements et d'infrastructures associés à une activité spécifique (service général, application d'entreprise, etc.). L'analyse permet :
  - d'obtenir une vue globale des impacts environnementaux des services pour identifier la part relative de contribution de chaque service à chaque critère, (voir Figure 3.15),
  - d'analyser, pour chaque critère d'impact individuellement, les impacts environnementaux des services, permettant d'identifier les activités ou sous-activités (ex. applications) les plus impactantes pour l'organisation (voir Figure 3.16),

8. On entend ici "application" au sens informatique du terme (par exemple, un site web) et non comme un service global, qui peut regrouper plusieurs applications ou sous-services.

- de construire une vue individualisée pour chaque service, mettant en évidence le ou les critères les plus impactants associés à celui-ci.

Cette approche manuelle est puissante, mais exige un effort important de structuration des données en amont.

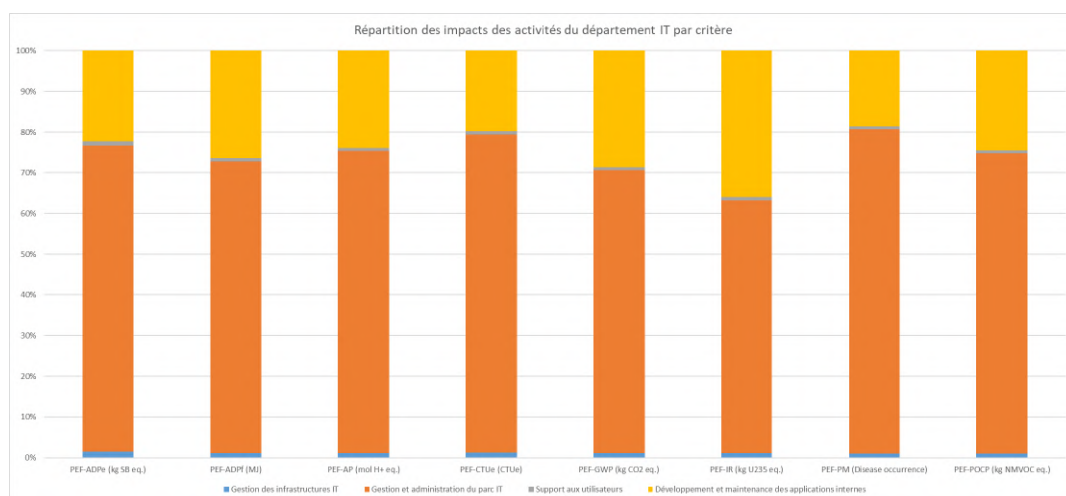


FIGURE 3.15 – Graphique de répartition des impacts suivant les services pour chaque critère pour l'outil maison

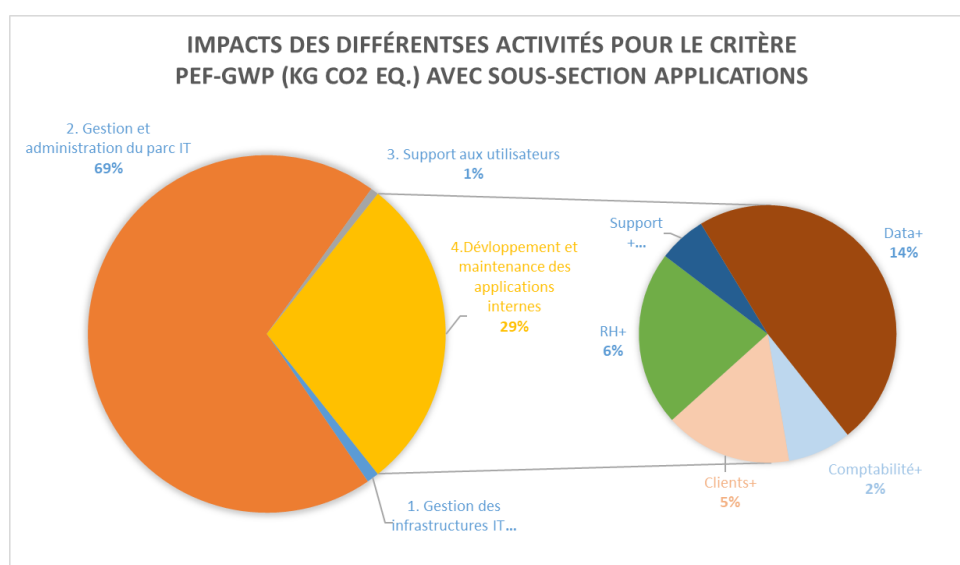


FIGURE 3.16 – Graphique d'impact suivant les services pour le critère *Changement climatique* pour l'outil maison

## Quels sont les enjeux et difficultés de cette étape ?

L'interprétation des résultats est une phase délicate, car elle conditionne l'utilité réelle de l'analyse pour orienter les décisions. Elle comporte plusieurs enjeux spécifiques, particulièrement marqués dans le contexte du numérique :

- **Poids prépondérant de la phase amont** : dans le domaine du numérique, les impacts les plus significatifs sont souvent localisés dans les phases de fabrication des équipements, bien avant leur mise en service dans l'organisation. Cela peut créer un décalage entre les leviers perçus comme les plus accessibles (usage, consommation d'énergie) et ceux les plus efficaces (durée de vie des équipements, réduction du renouvellement).

- **Risque de surinterprétation des résultats** : les résultats ne doivent pas être considérés comme des vérités absolues, mais comme des ordres de grandeur issus de choix méthodologiques. Ignorer les incertitudes associées peut conduire à des conclusions erronées ou à des décisions mal ciblées.
- **Identification des hotspots** : Une fois les calculs effectués et les résultats visuels générés par l'outil d'analyse environnementale, le praticien est désormais en capacité d'**identifier les principaux hotspots environnementaux** de son organisation numérique. Ces hotspots, c'est-à-dire les zones concentrant les impacts les plus significatifs, peuvent être explorés selon **divers axes d'analyse**, qui varient en fonction des fonctionnalités proposées par l'outil utilisé. Parmi les axes les plus fréquents, on retrouve notamment :
  - **les équipements** (PC, serveurs, smartphones, etc.) ;
  - **les phases du cycle de vie** (fabrication, usage, fin de vie) ;
  - **les services ou fonctions IT** (stockage cloud, messagerie, visioconférence, etc.) ;
  - **les impacts environnementaux** (épuisement des ressources, émissions de substances radionisantes, etc.).

Cette étape d'identification est cruciale car elle permet de **prioriser les futurs actions d'amélioration** en se concentrant sur les éléments les plus contributifs.

- **Articulation avec les parties prenantes** : cette étape ouvre également un espace de dialogue. Les résultats peuvent servir de base à une discussion stratégique entre les équipes IT, la direction, les responsables RSE<sup>9</sup> ou les services achats. L'enjeu ici est de rendre les données compréhensibles, actionnables et orientées vers la transformation, au-delà de leur seule lecture environnementale.
- **Lien avec les recommandations d'amélioration** : l'étape d'interprétation prépare la suite de la démarche. Elle permet de passer d'un constat (résultats chiffrés) à une logique d'action (leviers de réduction). Toutefois, les pistes d'amélioration ne sont pas universelles : elles doivent être formulées à partir des *hotspots* identifiés et adaptées au contexte spécifique de l'organisation. Le chapitre suivant proposera d'accompagner les organisations dans leur passage à l'action avec des propositions concrètes regroupées par postes d'émission. La pertinence des propositions devra toujours être évaluée en tenant compte des objectifs de réduction de l'entreprise et de ses contraintes opérationnelles.

## Comment cette étape a-t-elle été appliquée dans le cas d'étude ?

Dans le cas fictif étudié, les résultats issus des différents outils convergent globalement sur les mêmes grandes tendances. Le **parc IT** représente la majorité des impacts environnementaux, devant l'infrastructure. Les **laptops**, **serveurs** et l'**imprimante** (cette dernière selon l'outil maison) sont identifiés comme les équipements les plus impactants, représentant à eux seuls entre 60 et 70 % des impacts. Du point de vue des critères d'impact, l'**épuiement des ressources** et le **changement climatique** sont systématiquement mis en avant, bien que les outils divergent sur l'importance des **radiations ionisantes**. Concernant les phases du cycle de vie (données disponibles uniquement via *NumEcoEval*), la fabrication domine pour l'épuisement des ressources, tandis que l'usage est plus présent pour les émissions de particules et le climat. Du côté des services, les plus contributeurs sont la *Gestion du parc IT* et la *Maintenance des applications*, avec une répartition variable selon les outils. Enfin, les ordres de grandeur des résultats obtenus, sur les deux outils, sont similaires à l'exception de l'indicateur radiations ionisantes.

L'analyse détaillée de cette étape appliquée à l'étude de cas, incluant les *hotspots* identifiés, est **disponible en annexe B.4**.

---

9. RSE : Responsabilité sociétale des entreprises

## 3.2 Vue globale sur l'application de l'O-LCA dans le secteur du numérique

L'application complète de la méthode O-LCA dans ce travail a permis de tirer un ensemble d'enseignements transversaux sur l'évaluation environnementale du numérique à l'échelle organisationnelle. En combinant une étude de cas rigoureuse à l'analyse comparative des outils mobilisés, cette section vise à prendre du recul sur l'expérience acquise pour en extraire les principales leçons méthodologiques, les apports, mais aussi les limites rencontrées.

L'étude de cas fictive a constitué un levier central pour faire émerger des apprentissages spécifiques. Sa réalisation a permis de mieux comprendre les conditions concrètes de mobilisation de l'O-LCA dans un environnement numérique, là où la littérature scientifique reste encore silencieuse. En déroulant pas à pas les étapes méthodologiques, ce travail empirique a aussi permis d'enrichir la lecture du cadre méthodologique officiel, en montrant par exemple que certaines étapes comme l'analyse de l'inventaire sont souvent sous-estimées dans leur complexité, ou que la phase d'interprétation mérite un accompagnement spécifique pour que les résultats soient effectivement utilisés.

L'expérimentation de trois outils (*monacvnumerique.fr*, *NumEcoEval* et l'*outil maison Excel*) a permis de cerner des profils d'usage complémentaires. *monacvnumerique.fr* se distingue par sa simplicité et sa vocation pédagogique, mais reste limité à une logique par service sans permettre une analyse organisationnelle complète. À l'opposé, l'*outil maison*, développé dans le cadre de ce travail, offre une grande flexibilité : structuration personnalisée, indicateurs adaptés, visualisations croisées riches. Cependant, sa qualité dépend fortement des compétences du concepteur, et son développement exige un investissement méthodologique conséquent. Entre les deux, *NumEcoEval* constitue un compromis pertinent : il couvre l'ensemble du système numérique à l'échelle d'une organisation, propose des résultats structurés selon les étapes du cycle de vie et les entités techniques, tout en conservant une interface relativement accessible. Bien que certaines fonctionnalités restent à perfectionner, il s'impose comme un candidat solide pour les organisations cherchant un outil complet mais opérationnellement simple à mettre en œuvre.

Cette application a aussi permis de rappeler plusieurs enseignements fondamentaux sur l'évaluation environnementale du numérique :

- L'importance de ne pas négliger les premières étapes méthodologiques (objectifs, périmètre, unité fonctionnelle), qui conditionnent la qualité de toute l'analyse ;
- La valeur ajoutée du multicritère, qui permet de faire émerger des impacts souvent invisibles dans les approches uniquement climatiques ;
- Le rôle clé de la perspective cycle de vie complète, qui empêche les transferts d'impact entre phases (ex. : sous-estimer la fabrication).

Autrement dit, cette mise en œuvre vient combler une lacune majeure dans la littérature scientifique actuelle : l'absence de retours d'expérience documentés sur l'application concrète de l'O-LCA à un système numérique organisationnel. Elle propose des **enseignements mobilisables**, à la fois pour les praticiens souhaitant s'engager dans une démarche environnementale numérique crédible et pour les chercheurs intéressés par les conditions de déploiement de l'O-LCA.

### 3.3 Au-delà de l'application de la méthode O-LCA

L'application de la méthode O-LCA présentée dans ce chapitre a constitué le cœur méthodologique de ce travail. Elle a permis de démontrer, par l'analyse d'un cas fictif, le potentiel de l'approche O-LCA pour évaluer l'empreinte environnementale d'un département numérique, et de faire émerger une série de résultats concrets. Cette évaluation permet d'identifier les *hotspots* environnementaux : les services les plus impactants, les phases du cycle de vie les plus critiques et les catégories d'équipements les plus contributives.

Au-delà de cette approche et de ces résultats, deux prolongements essentiels s'imposent pour tirer pleinement parti de la démarche entreprise. Ces deux axes structurent les chapitres suivants du mémoire.

Dans un premier temps, au regard des résultats de l'application de l'approche O-LCA menée ainsi que des éléments théoriques fournis dans les chapitres précédents (méthodes, référentiels, outils, bases de données), il est apparu nécessaire de comprendre la diversité des solutions existantes et leurs apports respectifs. Ainsi le chapitre 4 vise à fournir un **éclairage synthétique** et une **vue globale** de ces différents éléments en vue de pouvoir les positionner les uns avec les autres.

Dans un second temps, afin de ne pas en rester au stade du diagnostic, il est apparu utile, voire nécessaire, d'identifier des actions concrètes à mettre en œuvre en réponse aux *hotspots* identifiés. Il s'agit ainsi de fournir aux organisations des **leviers opérationnels d'action** à mobiliser à la suite de la réalisation d'un diagnostic. Le chapitre 5 vise donc à apporter un éclairage sur cette dimension action du travail.

# Chapitre 4

## Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique

Ce chapitre vise à clarifier le positionnement relatif des différentes options méthodologiques et opérationnelles disponibles pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique dans une organisation.

Pour cela un **diagramme de positionnement** de ces différentes options a été réalisé dont la constitution s'appuie sur l'ensemble du travail mené dans ce mémoire. En ce sens, il synthétise à la fois l'analyse critique des méthodes d'évaluation environnementale (chapitre 2), la comparaison des référentiels méthodologiques (chapitre 2), la présentation et expérimentation des outils disponibles (chapitre 2 et 3), et l'application concrète de l'O-LCA (chapitre 3).

Conçu comme une **entrée structurée dans les enseignements de ce travail de recherche**, il vise à rendre visible, de façon concise, les grandes orientations possibles dans une démarche d'évaluation environnementale du numérique. Il constitue donc un **outil de positionnement** des différents éléments existants (méthodes, référentiels, outils et bases de données) en fonction des caractéristiques et objectifs de l'évaluation souhaitée pour son organisation.

### 4.1 Réflexions suivies

À la suite du travail bibliographique et de mise en œuvre menée autour de l'évaluation du numérique dans les organisations, il est apparu que cette évaluation pouvait prendre des formes variées, mobilisant différentes méthodes, référentiels, outils ou bases de données. Ces éléments dépendent d'une série de choix qu'il convient d'interroger. Ce chapitre vise ainsi à positionner ces éléments concrets au regard de plusieurs dimensions clés, afin d'éclairer les décisions méthodologiques possibles.

En effet, que ce soit au niveau des thématiques présentées dans les chapitres 2 ou 3, nous pouvons identifier toute une série de constats posés. D'abord, le chapitre 2 a permis de distinguer les grandes approches méthodologiques (bilan vs ACV, monocritère vs multicritère), et de mettre en évidence la robustesse des méthodes de type **multicritère-ACV**, recommandées par les normes ISO, l'ADEME ou encore l'IUT.

Dans un second temps, l'étude des référentiels méthodologiques OEF et O-LCA suivants leurs objectifs, domaines d'application et logiques sous-jacentes a permis d'identifier que d'une part l'**OEF** (*Organisation Environmental Footprint*) était un référentiel strict, conçu pour fa-

voriser la comparabilité entre organisations d’un même secteur à des fins de communication externe. Il s’appuie sur des règles standardisées définies au niveau européen (DAMIANI et al., 2022). Et d’autre part, l’**O-LCA** (*Organizational Life Cycle Assessment*), possède un cadre plus souple, destiné aux organisations souhaitant piloter une démarche d’amélioration continue interne. Il permet d’adapter la profondeur d’analyse aux capacités et objectifs de l’organisation (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2015).

Dans la continuité, les chapitres 2 et 3 ont ensuite permis d’approfondir l’analyse de quatre outils opérationnels : *monacvnumerique.fr*, *NumEcoEval*, un *outil maison Excel* et les *logiciels ACV classiques* (type SimaPro<sup>1</sup> ou OpenLCA<sup>2</sup>). L’expérimentation ou l’étude de ces outils a permis d’identifier pour chacun leurs conditions d’usage, leurs apports, leurs limites, et les compétences requises.

Enfin, plusieurs bases de données environnementales ont été examinées (Base Empreinte, ResilioDB, ecoinvent), avec leurs niveaux de détail, leurs coûts, leurs conditions d’accès et leur adéquation aux différents types d’outils.

Ainsi, afin de positionner chacun des éléments constitutifs d’une démarche d’évaluation environnementale, nous avons identifié un ensemble de **questions structurantes** permettant un **positionnement relatif** des méthodes, référentiels, outils et bases de données. Ce travail a été synthétisé sous la forme d’un arbre de décision, logique et progressif, présenté à la section 4.2. De manière générale, cette synthèse vise à articuler les enseignements méthodologiques avec une logique de choix opérationnels.

## 4.2 Diagramme de positionnement

Le diagramme proposé dans ce chapitre, illustré aux figures 4.1, 4.2 et 4.3<sup>3</sup>, se lit de manière descendante, en suivant une série de questions structurantes. À chaque étape, les réponses proposées orientent le lecteur vers un choix cohérent avec ses ressources, objectifs et contraintes.

La lecture commence par deux questions fondamentales : souhaite-t-on prendre en compte toutes les phases du cycle de vie du numérique (ACV ou non-ACV) et intégrer plusieurs types d’impacts environnementaux (méthode multicritère ou monocritère) ? Ce premier niveau méthodologique permet de déterminer si l’organisation doit s’orienter vers une approche **bilan carbone** (souvent plus simple mais partielle (WOLFF, 2015)) ou vers une approche **multicritère-ACV** (plus complète et rigoureuse).

Dans la suite du diagramme, seule la branche « méthode multicritère-ACV », correspondant au sujet de ce travail de fin d’études, a été détaillée. La question qui est posée dans un second temps concerne la **finalité de l’évaluation** : si celle-ci est tournée vers la communication externe ou la comparaison sectorielle, le référentiel recommandé est l’OEF ; s’il s’agit plutôt d’une démarche d’amélioration continue en interne, l’O-LCA est conseillée.

---

1. SimaPro est un logiciel commercial d’analyse du cycle de vie (ACV) développé par PRé Sustainability. Il est largement utilisé dans la recherche et l’industrie pour réaliser des modélisations environnementales détaillées, en s’appuyant sur des bases de données complètes (telles qu’ecoinvent) et des méthodes de caractérisation reconnues (PRÉ SUSTAINABILITY, s. d.).

2. OpenLCA est un logiciel libre d’analyse du cycle de vie (ACV) développé par GreenDelta. Il permet de construire des modèles ACV complexes en s’appuyant sur des bases de données publiques ou commerciales, et constitue une alternative accessible à SimaPro pour les structures souhaitant un outil open source (GREENDELTA, s. d.).

3. Vous pouvez retrouver le diagramme en entier en annexe C.



Pour les organisations qui s'orientent vers l'O-LCA, plusieurs questions successives permettent de guider le choix de l'outil le plus adapté. D'abord, selon la **disponibilité de compétences** internes ou d'un accompagnement externe en ACV/O-LCA, puis selon le **niveau d'ambition visé** (de l'évaluation approximative à la modélisation fine). En fonction des réponses, l'organisation est orientée vers l'un des quatre outils suivants : *monacvnumerique.fr*, *NumEcoEval*, un *outil maison* et les *logiciels ACV classiques* (SimaPro, OpenLCA). Pour chaque outil recommandé, un bloc synthétique est affiché. Il présente ses principaux **avantages et limites**. Les pictogrammes "point d'attention" permettent d'identifier facilement les freins potentiels, limites techniques, ou biais méthodologiques des outils.

Enfin, le diagramme se termine par le choix, lorsque cela est nécessaire, d'une **base de données** environnementale selon l'outil mobilisé et les ressources disponibles. Dans les blocs des bases de données, le pictogramme "point d'attention" met en évidence les limites ou précautions d'usage et le pictogramme "cible" signale les situations dans lesquelles la base est particulièrement recommandée.

Ce diagramme permet, avant de s'engager dans une démarche opérationnelle d'évaluation, de prendre pleinement conscience des différentes dimensions et des enjeux associés, qu'il s'agisse des coûts, du temps à mobiliser, des compétences requises, de la disponibilité des outils, des limites méthodologiques ou encore des objectifs que chaque élément peut permettre d'atteindre.

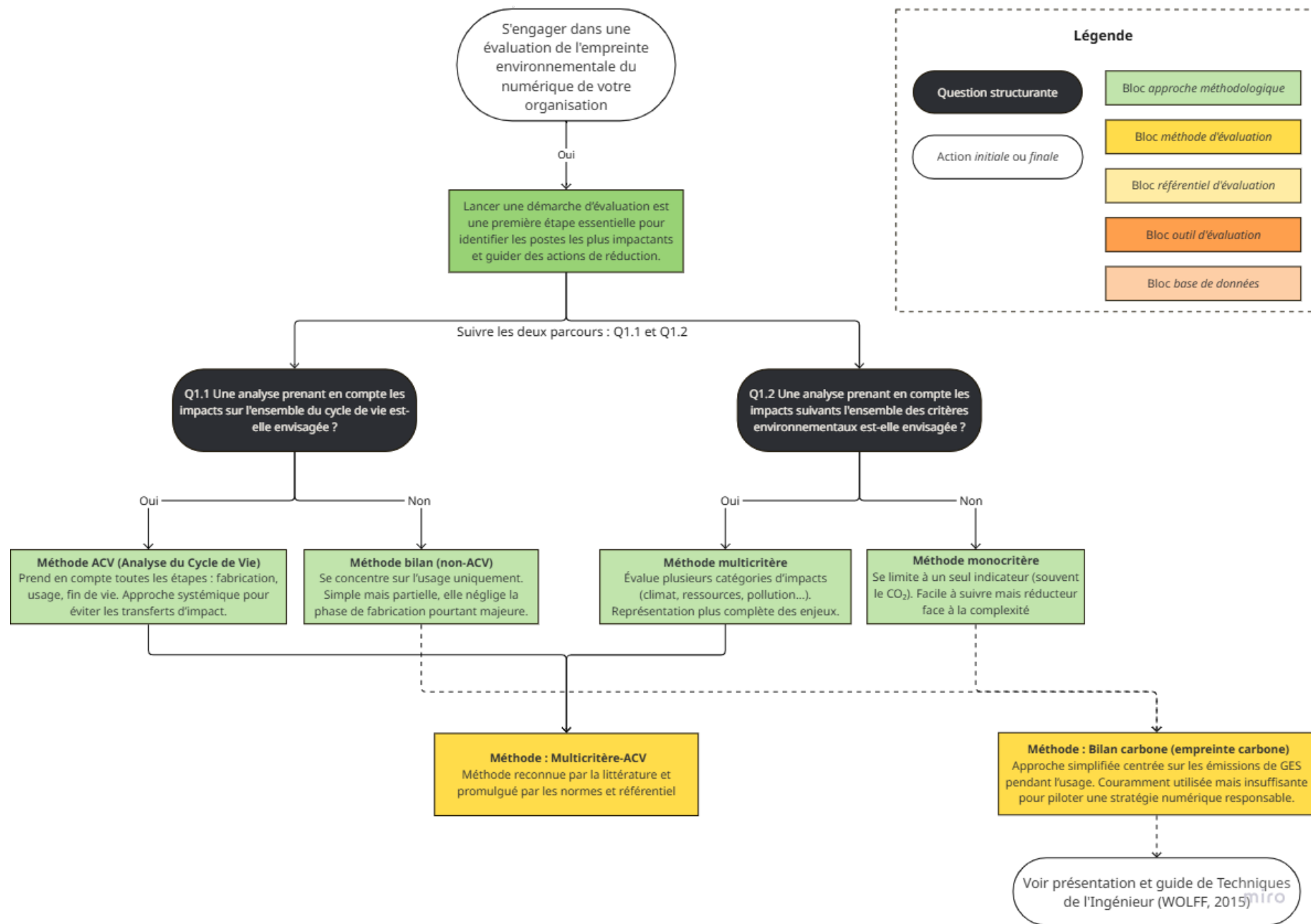


FIGURE 4.1 – Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique (1/3)

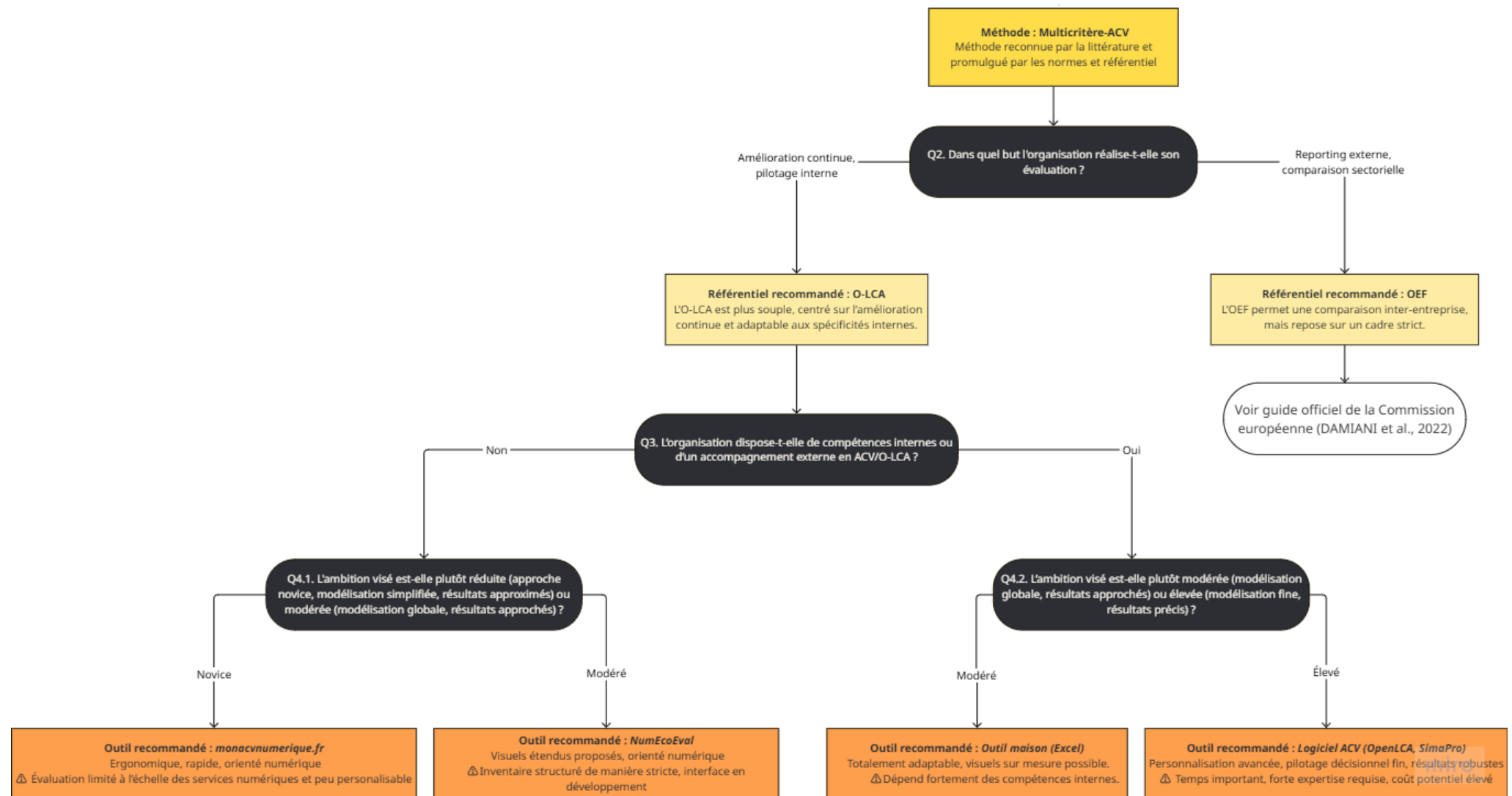


FIGURE 4.2 – Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique (2/3)

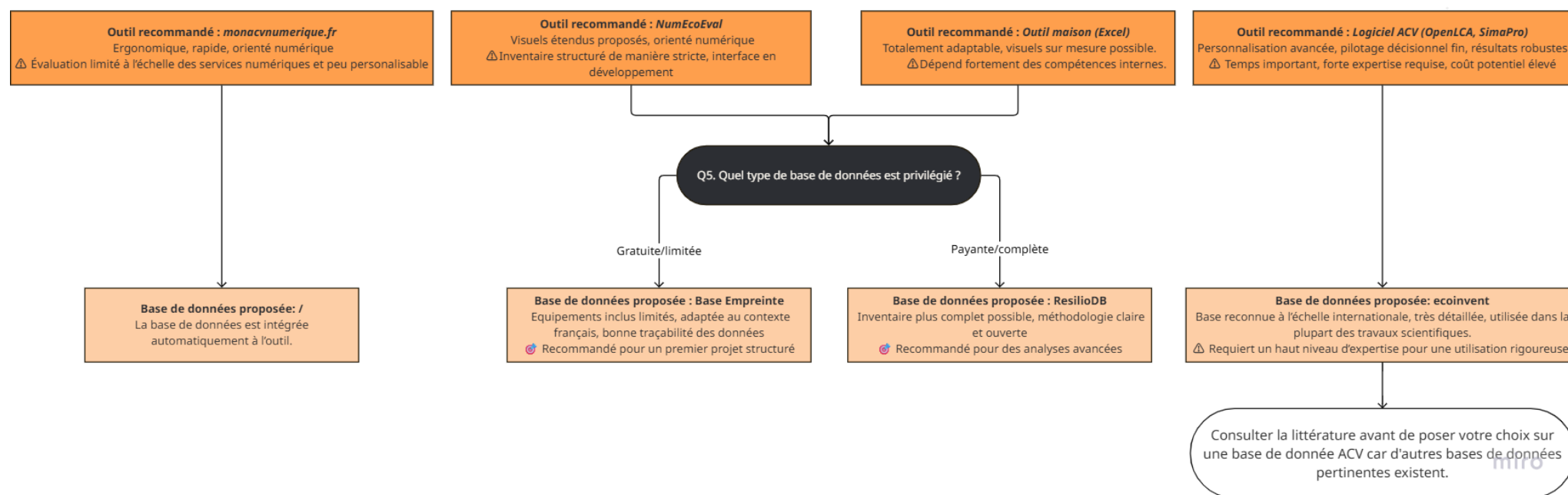


FIGURE 4.3 – Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique (3/3)

# Chapitre 5

## Analyse des actions et leviers d'amélioration

À la suite de l'analyse environnementale du système numérique de l'organisation, il est essentiel d'engager un passage à l'action. Comprendre les impacts, identifier les *hotspots* et produire des résultats chiffrés ne constitue qu'une première étape. Sans mesures concrètes, opérationnelles et planifiées, les intentions de réduction de l'empreinte numérique risquent de rester sans effets tangibles. Ce constat a été largement confirmé par les échanges menés avec des praticiens du secteur : l'un des freins majeurs identifiés est précisément la difficulté à traduire une évaluation environnementale en actions concrètes et suivies.

### 5.1 Méthodologie de structuration des actions proposées

Compte tenu de ce constat, nous avons voulu, dans cette partie du travail, explorer comment prolonger une analyse environnementale centrée sur le diagnostic (via une O-LCA) par une phase opérationnelle. Il s'agit de proposer un éventail structuré de pistes d'action permettant aux organisations de s'engager dans une transformation concrète. Il a pour vocation de servir de support à la construction d'un plan d'action, en lien avec les résultats d'une évaluation environnementale organisationnelle, telle qu'une O-LCA. Ainsi, la question principale qui a guidé ce chapitre est : *quelles sont les actions pertinentes à mener pour réduire l'empreinte environnementale du numérique, dans quels domaines techniques s'appliquent-elles, et à quelles catégories d'action correspondent-elles ?*

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, où une O-LCA a été appliquée à un cas d'étude, nous avons croisé les enseignements issus de cette mise en œuvre avec une revue approfondie de la littérature (rapports institutionnels, référentiels sectoriels, publications scientifiques) et une série d'échanges informels avec des acteurs de terrain. Cela nous a permis d'identifier un ensemble d'actions fréquemment mentionnées comme leviers d'amélioration environnementale : qu'elles soient illustrées dans des rapports, promues par des praticiens ou recensées dans des guides méthodologiques comme ceux de l'INR<sup>1</sup> ou de l'ADEME (AIOUCH et al., 2022 ; BORDAGE, 2020 ; VASSEUR et al., 2019). Il nous a alors semblé pertinent d'en proposer une lecture structurée, en lien avec les résultats que peut produire une O-LCA.

Dans un premier temps, les actions recensées ont été regroupées selon leur **domaine technique** d'application, c'est-à-dire le champ dans lequel l'action peut s'inscrire au sein d'une démarche numérique. Huit domaines ont ainsi été identifiés : *gouvernance, évaluation environnementale, postes de travail, affichage et périphériques, infrastructure IT, conception numérique,*

---

1. INR : Institut du Numérique Responsable

*usages numériques* et *sensibilisation*. Parmi ces huit domaines, certains (comme les postes de travail, l'infrastructures ou les usages) sont des domaines plus techniques, directement liés aux *hotspots* mis en évidence par une O-LCA (comme le type d'équipement, les phases du cycle de vie, etc.) ; tandis que d'autres domaines (comme la gouvernance ou l'évaluation environnemental) sont identifiés comme étant plus transversaux ou organisationnels.

Pour chaque domaine technique, chaque action a été associé à une **catégorie d'action** (ex. : politique d'achat, usage responsable, pilotage organisationnel...), et ce, afin de regrouper les actions selon leur logique de transformation, c'est-à-dire une lecture orientée vers le type de changement à initier (comportemental, technique, organisationnel...). Ensuite, pour chacune des actions identifiées, on a associée une **désignation claire**, ainsi que des **objectifs cibles chiffrés à court (un an) et moyen/long terme (quatre à huit ans)**. Ces objectifs sont soit directement extraits de la littérature, soit estimés sur la base de tendances observées ou d'objectifs politiques réalistes. Bien que génériques, ces objectifs peuvent être adaptés en fonction des spécificités des organisations amenées à les mettre en œuvre, selon leur taille, leurs contraintes humaines, techniques ou budgétaires. Il est toutefois recommandé de conserver une ambition élevée dans une logique d'amélioration continue. La structuration proposée ici vise à rendre ces actions facilement mobilisables dans le cadre d'un plan d'amélioration périodique.

## 5.2 Tableau d'actions

Le tableau 5.1 présenté dans cette section rassemble un ensemble d'actions identifiées comme les plus pertinentes, impactantes et adaptées à une organisation numérique. Chaque ligne du tableau correspond à une action, décrite et contextualisée pour en faciliter l'appropriation.

Une fois les postes d'impacts majeurs identifiés grâce à une méthode d'évaluation comme l'O-LCA, l'organisation peut sélectionner, dans le tableau 5.1, les actions pertinentes en fonction de ses enjeux prioritaires, les adapter à son contexte, et planifier leur mise en œuvre. La démarche peut être renouvelée tous les deux à trois ans pour suivre l'évolution des impacts et ajuster les efforts.

Le tableau est structuré en six colonnes :

- **Domaine technique** : domaine où l'action s'applique, en lien avec les domaines techniques typiques du numérique,
- **Type de l'action** : désignation synthétique de l'action recommandée,
- **Catégorie d'action** : type de levier mobilisé,
- **Objectif court terme** : cible à atteindre dans un délai d'un an,
- **Objectif moyen/long terme** : cible à atteindre à horizon quatre à huit ans,
- **Sources / références** : origine de l'action ou de la cible proposée.

Bien entendu, il existe toute une série d'autres pistes d'action à explorer, à affiner et à prioriser selon les enjeux propres à chaque organisation. Le tableau proposé ici constitue une base de travail mobilisable, adaptable et appelant à être enrichie en fonction des retours d'expérience et des évolutions du contexte réglementaire ou technologique.

TABLEAU 5.1 – Actions pour un numérique responsable

| Domaine technique           | Type d'action                                                         | Catégorie d'action         | Objectif cible court terme (1 an)           | Objectif cible moyen/long terme (4-8 ans)    | Sources / Références |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|
| Gouvernance                 | Nommer un-e responsable du numérique responsable                      | Pilotage organisationnel   | Responsable désigné                         | /                                            | BORDAGE, 2020        |
| Gouvernance                 | Augmenter le taux de télétravail                                      | Pilotage organisationnel   | 1 jour/semaine                              | 3 jours/semaine                              | /                    |
| Gouvernance                 | Créer un budget dédié au numérique responsable                        | Budget / ressources        | 1% du budget DSI <sup>2</sup> alloué        | 5% du budget DSI alloué                      | BORDAGE, 2020        |
| Gouvernance                 | Intégrer la durabilité dans le rapport de gestion                     | Reporting                  | Présence de la durabilité dans les rapports | /                                            | VASSEUR et al., 2019 |
| Évaluation environnementale | Réévaluer son organisation régulièrement                              | Pilotage environnemental   | Première réévaluation lancée                | Réévaluation tous les 2/3 ans                | /                    |
| Évaluation environnementale | Planifier l'accès à de nouvelles sources de données environnementales | Pilotage environnemental   | Planification effectuée                     | Intégration dans l'outillage d'évaluation    | AIOUCH et al., 2022  |
| Évaluation environnementale | Réaliser un plan d'action global pour le numérique responsable        | Stratégie environnementale | Plan d'action formalisé                     | Suivi annuel et actualisation tous les 3 ans | BORDAGE, 2020        |
| Évaluation environnementale | Diminuer l'empreinte environnementale globale                         | Stratégie environnementale | -10% d'empreinte globale                    | -30%                                         | /                    |
| Postes de travail           | Allonger la durée d'utilisation des équipements                       | Achat                      | +2% durée d'utilisation moyenne             | +10% durée d'utilisation moyenne             | BORDAGE, 2019        |

---

2. DSI : Direction des systèmes informatiques

| Domaine technique          | Type d'action                                                                       | Catégorie d'action         | Objectif cible court terme (1 an) | Objectif cible moyen/long terme (4-8 ans) | Sources / Références |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| Postes de travail          | Favoriser l'achat de matériel reconditionné                                         | Achat                      | 25% du parc reconditionné         | 75% du parc reconditionné                 | BORDAGE, 2020        |
| Postes de travail          | Favoriser le réemploi des équipements IT en interne                                 | Organisation du parc       | 25% reconditionné en interne      | 75%                                       | BORDAGE, 2020        |
| Postes de travail          | Réduire le nombre d'équipements par salarié                                         | Organisation du parc       | -10% d'équipements par employé    | -25%                                      | /                    |
| Postes de travail          | Déployer une stratégie BYOD (Bring Your Own Device)                                 | Organisation du parc       | 2% du parc personnel BYOD         | 10% du parc personnel BYOD                | BORDAGE, 2020        |
| Postes de travail          | Donner une seconde vie aux équipements (dons)                                       | Fin de vie                 | 25% des équipements redistribués  | 100% des équipements redistribués         | /                    |
| Affichage et périphériques | Réduire les écrans plats (vers vidéoprojecteurs, AR <sup>3</sup> /VR <sup>4</sup> ) | Rationalisation matérielle | 10% des grands écrans remplacés   | 50% remplacés                             | BORDAGE, 2019        |
| Affichage et périphériques | Réduction des objets connectés non essentiels                                       | Rationalisation matérielle | -10% d'objets connectés           | -50%                                      | BORDAGE, 2019        |
| Affichage et périphériques | Configurer l'impression en mode éco par défaut                                      | Usage responsable          | Paramétrage effectué              | Maintien des réglages                     | /                    |
| Infrastructure IT          | Upgrader les serveurs plutôt que remplacer                                          | Matériel / cycle de vie    | 5% du parc upgradé                | 15%                                       | BORDAGE, 2020        |
| Infrastructure IT          | Réduire les besoins des serveurs via éco-conception                                 | Éco-conception             | -5% de besoins serveurs           | -30%                                      | BORDAGE, 2019        |

---

3. AR : *Augmented Reality*

4. VR : *Virtual Reality*



| Domaine technique    | Type d'action                                                         | Catégorie d'action | Objectif court terme (1 an)   | Objectif cible moyen/long terme (4-8 ans) | Sources / Références                       |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Infrastructure IT    | Réduction de la quantité de données transmises                        | Éco-conception     | -2% des données transmises    | -15%                                      | BORDAGE, 2019                              |
| Infrastructure IT    | Alimenter l'IT avec de l'énergie renouvelable                         | Énergie            | 5% d'électricité renouvelable | 30% d'électricité renouvelable            | BORDAGE, 2020                              |
| Infrastructure IT    | Améliorer l'efficacité énergétique des data centers                   | Énergie            | Diminution du PUE de 10%      | Diminution du PUE de 30%                  | /                                          |
| Infrastructure IT    | Favoriser le matériel éco-conçu et réparable                          | Achat responsable  | 5% du parc concerné           | 30% du parc concerné                      | AIOUCH et al., 2022 ; VASSEUR et al., 2019 |
| Conception numérique | Former les développeurs à l'éco-conception (green code <sup>5</sup> ) | Formation          | 10% des devs formés           | 50% des devs formés                       | AIOUCH et al., 2022 ; VASSEUR et al., 2019 |
| Conception numérique | Mutualiser les serveurs avec des VM                                   | Éco-conception     | 25% des apps sur VM           | 100%                                      | /                                          |
| Conception numérique | Ajouter une pré-évaluation environnementale dans les projets          | Éco-conception     | Présente dans 20% des projets | 100% des projets                          | /                                          |
| Conception numérique | Élaborer une charte IA responsable                                    | Gouvernance/IA     | Plan d'action validé          | /                                         | AIOUCH et al., 2022                        |
| Usages numériques    | Privilégier l'audio à la vidéo quand possible                         | Usage responsable  | 15% de visioconf. remplacées  | 40% remplacées                            | /                                          |

5. Le *green code*, ou code éco-conçu, regroupe un ensemble de bonnes pratiques de programmation destinées à minimiser l'empreinte environnementale d'un logiciel tout au long de son cycle de vie. Cela inclut notamment la réduction des consommations énergétiques lors de l'exécution (efficience algorithmique, sobriété des requêtes, limitation des opérations superflues), la diminution de l'empreinte mémoire et réseau, ainsi que l'optimisation du code pour différents environnements matériels.

| Domaine technique | Type d'action                                                        | Catégorie d'action | Objectif cible court terme (1 an) | Objectif cible moyen/long terme (4-8 ans) | Sources / Références |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| Usages numériques | Favoriser les connexions filaires au sans-fil                        | Usage responsable  | 25% des connexions filaires       | 80%                                       | /                    |
| Sensibilisation   | Organiser des ateliers de sensibilisation (ex. fresque du numérique) | Formation          | 10% des employés formés           | 50%                                       | /                    |

# Conclusion

Depuis la révolution industrielle, les activités humaines ont franchi plusieurs limites planétaires (climat, biodiversité, cycles biogéochimiques, etc.), menaçant la stabilité du système Terre. Dans ce contexte, le numérique, loin d'être une simple technologie neutre, participe activement au dépassement de certaines limites planétaires comme le réchauffement climatique ainsi qu'à d'autres pressions environnementales majeures, telles que l'épuisement des ressources. Il est aujourd'hui essentiel de le penser non plus comme un outil de développement de nos activités sans limite, mais comme un vecteur de transformation qui doit être inscrit dans une démarche de réduction des impacts.

Dans cette démarche de nécessaire transition, les organisations IT, qu'il s'agisse d'un service IT interne d'une entreprise ou d'une entreprise de services numériques à part entière, ont un rôle central à jouer. Pour cela, il est impératif qu'elles puissent disposer de méthodes d'évaluation environnementale holistiques, capables de rendre compte de l'ensemble des impacts de leurs activités numériques. C'est pourquoi la première partie de ce travail a posé le cadre théorique et factuel : elle établit les fondements scientifiques (cadre des limites planétaires) et définit le concept de numérique responsable, insistant sur la nécessité pour les organisations d'aller au-delà du simple bilan carbone et de s'engager dans une démarche d'évaluation et d'amélioration continue.

Cette réflexion théorique a été enrichie tout au long du mémoire par une série d'échanges approfondis avec des acteurs de terrain issus d'horizon divers (Institut Belge du Numérique Responsable, Materia Nova, Ministère français de la Transition écologique, norsys, etc.). Ces entretiens ont joué un rôle structurant, en permettant d'ancrer les enjeux théoriques dans la réalité opérationnelle des organisations. Ils ont permis de mieux comprendre les attentes concrètes, les contraintes rencontrées, mais aussi les leviers de motivation propres à chaque contexte. Ces retours ont guidé l'orientation du travail, affiné les choix méthodologiques, et contribué à la formulation d'outils adaptés aux besoins des organisations à la fois en terme de diagnostic ou de passage à l'action. Ce dialogue constant entre théorie et pratique constitue un fil rouge du mémoire, renforçant sa vocation de recherche-action au service du numérique responsable.

Pour initier la démarche, ce mémoire a ensuite cherché à identifier les méthodes et référentiels les plus adaptés pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique. L'association d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV) et d'une méthode multicritère s'est révélée indispensable pour saisir la diversité des enjeux et éviter les transferts de pollution inhérents aux méthodes monocritères (typiquement centrées sur le seul indicateur carbone). Parmi les référentiels existants, le choix s'est porté sur l'*Organizational Life Cycle Assessment* (O-LCA), un cadre méthodologique développé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) afin de guider l'évaluation environnementale des organisations de manière globale et multisectorielle. Ce référentiel a été retenu pour plusieurs raisons : sa flexibilité dans la sélection des catégories d'impacts, sa capacité à couvrir l'ensemble des processus d'une organisation, et son orientation claire vers l'amélioration interne plutôt que vers la comparaison inter-entreprises.

Cette méthodologie O-LCA a ensuite été déployée sur un cas d'étude fictif appliqué à un département IT. À ce jour, les travaux appliquant l'O-LCA au secteur du numérique restent quasi inexistant dans la littérature. Cette mise en œuvre concrète constitue donc une contribution originale qui permet de tirer des enseignements inédits sur l'application de l'O-LCA aux systèmes numériques. Elle a permis d'identifier, étape par étape, les points d'attention méthodologiques à anticiper lors de la mise en œuvre ainsi que les leviers d'action que permet une telle approche. Au-delà du simple diagnostic, cette application a permis une prise de recul globale, formulant des enseignements extrapolables, des limites identifiées et des recommandations concrètes pour une application future de l'O-LCA dans le contexte du numérique, venant ainsi combler le manquement identifié dans la littérature.

La mise en œuvre concrète de la méthode O-LCA, ainsi que les enseignements qui en ont été tirés, ont permis de mieux cerner ses apports spécifiques dans le contexte du numérique et de la positionner par rapport aux autres approches existantes. Sur cette base, un diagramme de positionnement a été élaboré afin d'offrir une vue d'ensemble claire et synthétique des différents cadres, méthodes et outils mobilisables pour s'engager dans une démarche de numérique responsable. En intégrant le retour d'expérience issu de l'utilisation de l'O-LCA, ce diagramme permet d'engager une démarche structurée d'évaluation environnemental, permettant aux organisations d'identifier les solutions les plus pertinentes en fonction de leurs objectifs de diagnostic, tout en tenant compte de leurs spécificités notamment leur maturité sur le sujet, leurs moyens financiers et les ressources dont elles disposent.

Par ailleurs, en nous appuyant à la fois sur les résultats de l'application de l'O-LCA au numérique, qui a permis d'identifier plusieurs hotspots sur lesquels il serait pertinent d'agir, et sur un corpus de références bibliographiques traitant du numérique responsable (dans lesquelles de nombreuses actions sont évoquées ou décrites), nous avons entrepris de systématiser cette collecte d'informations afin de recenser les leviers d'action concrets. Cela a conduit à l'élaboration d'un recueil structuré d'actions opérationnelles, classées par domaine (postes de travail, gouvernance, sensibilisation, etc.). Ce référentiel vise à dépasser le simple constat pour offrir aux organisations des pistes concrètes de passage à l'action. En le complétant par des recommandations précises et des indicateurs chiffrés, ce recueil a vocation à être mobilisé comme support à la traduction du diagnostic en feuilles de route adaptées aux enjeux spécifiques de chaque organisation.

En définitive, ce mémoire, inscrit dans une démarche de recherche-action, a cherché à dépasser le constat d'une empreinte numérique croissante en offrant aux organisations un cadre méthodologique opérationnel et pragmatique. À travers l'association d'une méthode multicritère-ACV, du référentiel O-LCA, d'une étude de cas réaliste, d'un diagramme de positionnement et d'un recueil d'actions concrètes, il contribue à guider les organisations souhaitant s'engager dans le numérique responsable à la fois sur les aspects stratégique (réalisation diagnostic, choix méthodologiques, définition des priorités) et une mise en œuvre opérationnelle (outil d'évaluation, leviers d'action, plan de déploiement). L'ambition est claire : que chaque acteur, quel que soit son profil, puisse comprendre l'ampleur des impacts de son numérique, identifier ses points névralgiques et s'engager dans une trajectoire de transition tangible, pérenne et respectueuse des limites planétaires.

Au-delà des contributions directes de ce travail, plusieurs perspectives d'approfondissement se dessinent, articulées autour de trois axes complémentaires. Premièrement, dans le prolongement direct des résultats obtenus, il serait pertinent de conduire un travail comparatif entre les différents outils d'évaluation mobilisés. Comme évoqué précédemment, plusieurs solutions coexistent sur le terrain ; leur application à une série de cas de figure permettrait de mesurer le degré de cohérence entre les résultats produits, de mieux comprendre leurs spécificités

méthodologiques, et d'identifier d'éventuels écarts ou limites. Deuxièmement, une évolution intéressante consisterait à enrichir la démarche O-LCA en y intégrant des indicateurs sociaux et économiques, au-delà des seuls enjeux environnementaux. Cela permettrait de proposer une lecture plus systémique de l'impact du numérique, incluant par exemple les conditions de travail dans les chaînes d'approvisionnement ou la vulnérabilité des utilisateurs finaux. Enfin, une troisième perspective consisterait à appliquer les résultats de ce travail dans un contexte réel, en accompagnant une organisation s'engageant concrètement dans une démarche de diagnostic et de passage à l'action. Un tel suivi de terrain permettrait d'évaluer la transférabilité du cadre proposé, de repérer les obstacles rencontrés lors de la mise en œuvre, et d'enrichir le retour d'expérience dans une optique de diffusion pour que d'autres organisations puissent en bénéficier.

# Bibliographie

- ADEME. (2024, octobre). La méthode Empreinte Projet. <https://infos.ademe.fr/lettre-strategie-octobre-2024/la-methode-empreinte-projet/>
- ADEME. (s. d.). *Accueil / Base Empreinte®*. Récupérée avril 6, 2025, à partir de <https://base-empreinte.ademe.fr/>
- ADEME & ARCEP. (2022). Empreinte environnementale du numérique en France : l'ADEME et l'Arcep remettent leur premier rapport au gouvernement. *Communiqué de presse - Environnement*, 1-6. <https://www.arcep.fr/actualites/actualites-et-communiques/detail/n/environnement-190122.html>
- AIOUCH, Y., CHANOINE, A., CORBET, L., OLLION, L., VIGNERON, V., VATEAU, C., PERASSO, E. L., BORDAGE, F., ADEME & ARCEP. (2022). *Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, Etat des lieux et pistes d'actions*. <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>
- ANDREASI, B. S., BIGANZOLI, F., FERRARA, N., AMADEI, A., VALENTE, A., SALA, S., & ARDENTE, F. (2023). *Updated characterisation and normalisation factors for the environmental footprint 3.1 method* [JRC publications repository] (ISBN : 9789276990697 ISSN : 1831-9424). <https://doi.org/10.2760/798894>
- BORDAGE, F. (2019). *Empreinte environnementale du numérique mondial*. GreenIT.fr. <https://www.greenit.fr/etude-empreinte-environnementale-du-numerique-mondial/>
- BORDAGE, F. (2020). *Référentiel Green-IT - Les 65 bonnes pratiques clés*. Institut du Numérique Responsable (INR) et GreenIT.fr. <https://institutnr.org/wp-content/uploads/2020/06/2020-v3-65-bonnes-pratiques-greenit.pdf>
- BUREAU VERITAS, APL - DATACENTER, DDEMAIN & ADEME. (2021). *Référentiel par Catégorie de Produit (RCP) des services numériques*. <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/6022-referentiel-par-categorie-de-produit-rcp-des-services-numeriques.html>
- CENTRE NATIONAL DE RESSOURCES TEXTUELLES ET LEXICALES (CNRTL). (s. d.). *RESPONSABLE : Définition de RESPONSABLE*. Récupérée avril 24, 2025, à partir de <https://www.cnrtl.fr/definition/responsable>
- CLAUDE, G. (2020, février 3). *Recherche-action : définition et étapes* [Scribbr]. <https://www.scribbr.fr/methodologie/recherche-action/>
- CONSORTIUM NEGAOCTET. (2022). *Rapport méthodologique – Création de données d'ICV Projet Negaoctet*.
- DAMIANI, M., FERRARA, N., & ARDENTE, F. (2022). *Understanding Product Environmental Footprint and Organisation Environmental Footprint methods*. Office des publications de l'Union européenne. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/11564>
- DELMAS-ORGELET, J., EKCHAJZER, D., ESKENAZI, L., FANGEAT, E., FOURBOUL, E., MALPART, G., ROUSSILHE, G., LE GOFF, K., & LEFEVRE, F. (2024). *Évaluation environnementale des effets directs et indirects du numérique pour des cas d'usages*. <https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/7785-it4green-evaluation-environnementale-des-effets-directs-et-indirects-du-numerique-pour-des-cas-d-usage.html>

- DERAM, E. (2021). *Trade-offs of longer product lifetimes - When is it time to reuse a product or recycle its materials ?* [Master's thesis]. Ghent University. [https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/003/013/050/RUG01-003013050\\_2021\\_0001\\_AC.pdf](https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/003/013/050/RUG01-003013050_2021_0001_AC.pdf)
- DEWETT, T., & JONES, G. R. (2001). The role of information technology in the organization : a review, model, and assessment. *Journal of Management*, 27(3), 313-346. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0149-2063\(01\)00094-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0149-2063(01)00094-0)
- DIAS, L. C., FREIRE, F., & GELDERMANN, J. (2019). Perspectives on multi-criteria decision analysis and life-cycle assessment. In M. DOUMPOS, J. R. FIGUEIRA, S. GRECO & C. ZOPOUNIDIS (Éd.), *New perspectives in multiple criteria decision making : innovative applications and case studies* (p. 315-329). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11482-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11482-4_12)
- ECOINVENT. (s. d.). *Ecoinvent - data with purpose*. [Ecoinvent]. Récupérée avril 6, 2025, à partir de <https://ecoinvent.org/>
- EDEN, C., & HUXHAM, C. (1996). Action research for management research. *British Journal of Management*, 7(1), 75-86. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.1996.tb00107.x>
- ETSI. (2025, janvier). *ETSI ES 203 199 - Environmental Engineering (EE) ; Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services* (N° V1.4.1). [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_es/203100\\_203199/203199/01.04.01\\_60/es\\_203199v010401p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.04.01_60/es_203199v010401p.pdf)
- ETSI. (s. d.). *ETSI* [Accueil]. Récupérée mars 10, 2025, à partir de <https://www.etsi.org/>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (s. d.). *cradle to grave* [European Environment Agency (EEA)]. Récupérée mars 10, 2025, à partir de <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/cradle-to-grave>
- FINKBEINER, M. (2014). Product environmental footprint—breakthrough or breakdown for policy implementation of life cycle assessment ? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 266-271. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0678-x>
- FUTURA. (2024, décembre). *Cloud computing : qu'est-ce que c'est ?* <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cloud-computing-11573/>
- GLOBAL ECO CONCEPT. (s. d.). *monacvnumerique.fr*. Récupérée mai 1, 2025, à partir de <https://globalecoconcept.com/outil/>
- GREENDELTA. (s. d.). *openLCA | openLCA.org*. Récupérée février 5, 2025, à partir de <https://www.openlca.org/openlca/>
- GREENSCOPE. (s. d.). *Numérique Responsable : agir après votre Bilan Carbone pour réduire l'impact du digital*. Récupérée avril 24, 2025, à partir de <https://www.greenscope.io/numerique-responsable>
- HARMON, R., REINOSO, M., DEMIRKAN, H., & AUSEKLIS, N. (2010). From Green Computing to Sustainable IT : Developing a Sustainable Service Orientation. *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1-10. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2010.214>
- HEIJUNGS, R., GUINÉE, J., HUPPES, G., LANKREIJER, R., UDO DE HAES, H., WEGENER SLEESWIJK, A., ANSEMS, A., EGGELS, P., DUIN, R. v., & GOEDE, H. (1992). Life Cycle Assessment of products. *Guide and Backgroud (Part 1)*. CML Leiden, Netherlands. <https://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%3A3137515/download>
- INSTITUT DU NUMÉRIQUE RESPONSABLE (INR). (s. d.-a). *Label NR* [Label Numérique Responsable]. Récupérée avril 24, 2025, à partir de <https://label-nr.fr/>
- INSTITUT DU NUMÉRIQUE RESPONSABLE (INR). (s. d.-b). *Numérique Responsable* [Label Numérique Responsable]. Récupérée avril 24, 2025, à partir de <https://label-nr.fr/numerique-responsable/>
- INSTITUTE FOR SUSTAINABLE IT. (2022, septembre 29). *Abiotique — Wiki du Numérique Responsable*. <https://fr.wiki.isit-europe.org/nr/Abiotique>

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2024). *Electricity 2024 – analysis*. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>
- ISO. (2006a, juillet). *ISO 14040 :2006*. <https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>
- ISO. (2006b, juillet). *ISO 14044 :2006*. <https://www.iso.org/fr/standard/38498.html>
- ISO. (2014, décembre). *ISO/TS 14072 :2014*. <https://www.iso.org/standard/61104.html>
- ISO. (2024, octobre). *ISO 14072 :2024*. <https://www.iso.org/standard/86265.html>
- MARTÍNEZ BLANCO, J., FINKBEINER, M., INABA, A., & PNUE/SETAC. (2015). *Guidance on organizational life cycle assessment - life cycle initiative*. <https://www.lifecycleinitiative.org/library/guidance-on-organizational-life-cycle-assessment/>
- MARTÍNEZ BLANCO, J., FORIN, S., & FINKBEINER, M. (2018). Launch of a new report : “road testing organizational life cycle assessment around the world : applications, experiences and lessons learned”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(1), 159-163. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1409-5>
- MARTÍNEZ BLANCO, J., FORIN, S., FINKBEINER, M., INABA, A., & PNUE/SETAC. (2017). *Road testing organizational life cycle assessment around the world : applications, experiences and lessons learned - life cycle initiative*. <https://www.lifecycleinitiative.org/library/road-testing-organizational-life-cycle-assessment-around-the-world-applications-experiences-and-lessons-learned/>
- MARTÍNEZ-BLANCO, J., INABA, A., QUIROS, A., VALDIVIA, S., MILÀ-I-CANALS, L., & FINKBEINER, M. (2015). Organizational LCA : the new member of the LCA family—introducing the UNEP/SETAC life cycle initiative guidance document. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(8), 1045-1047. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0912-9>
- MATERIA NOVA. (s. d.). *Materia Nova - innovation center* [Materia Nova - innovation center]. Récupérée avril 6, 2025, à partir de <https://www.materianova.be/fr/>
- MG TFE. (s. d.). *Recherche-action*. Récupérée avril 27, 2025, à partir de <https://mgtfe.be/guide-de-redaction/6-les-differentes-methodes-dinvestigation/6-6-recherche-action/>
- MORA, C., SPIRANDELLI, D., FRANKLIN, E. C., LYNHAM, J., KANTAR, M. B., MILES, W., SMITH, C. Z., FREEL, K., MOY, J., LOUIS, L. V., BARBA, E. W., BETTINGER, K., FRAZIER, A. G., COLBURN IX, J. F., HANASAKI, N., HAWKINS, E., HIRABAYASHI, Y., KNORR, W., LITTLE, C. M., ... HUNTER, C. L. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions [Publisher : Nature Publishing Group]. *Nature Climate Change*, 8(12), 1062-1071. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6>
- NATIONAL INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT. (2024, octobre). *LCIA : le modèle ReCiPe*. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
- NORSYS. (s. d.). *Bienvenue sur norsys | norsys*. Récupérée avril 28, 2025, à partir de <https://www.norsys.fr/>
- ONE.COM. (s. d.). *Qu'est-ce que Microsoft 365 (anciennement Office 365) ?* [one.com]. Récupérée mars 30, 2025, à partir de <https://www.one.com/fr/microsoft-office-365/office-365-c-est-quoi>
- ORSEO. (2024, février 28). *Qu'est-ce Que Le Numérique Responsable : Définition, Enjeux, Labels* - [Section : Blog]. <https://www.orseo.fr/numerique-responsable/>
- PELLETIER, N., ALLACKER, K., PANT, R., & MANFREDI, S. (2014). The european commission organisation environmental footprint method : comparison with other methods, and rationales for key requirements. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 387-404. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0609-x>
- PRÉ SUSTAINABILTY. (s. d.). *SimaPro - sustainability insights for informed changemakers* [SimaPro]. Récupérée mai 31, 2025, à partir de <https://simapro.com/>
- RESILIO. (s. d.). *Resilio | Database* [Resilio]. Récupérée mai 1, 2025, à partir de <https://resilio-solutions.com/en/services/database>



- REV3. (s. d.). *Rev3 - Transformons les Hauts-de-France* [REV3]. Récupérée avril 28, 2025, à partir de <https://rev3.hautsdefrance.fr/>
- RICHARDSON, K., STEFFEN, W., LUCHT, W., BENDTSEN, J., CORNELL, S. E., DONGES, J. F., DRÜKE, M., FETZER, I., BALA, G., von BLOH, W., FEULNER, G., FIEDLER, S., GERTEN, D., GLEESON, T., HOFMANN, M., HUISKAMP, W., KUMMU, M., MOHAN, C., NOGUÉS-BRAVO, D., ... ROCKSTRÖM, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), 1-16. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- RIMANO, M., SIMBOLI, A., TADDEO, R., & RAGGI, A. (2019). Life Cycle Approaches for the Environmental Impact Assessment of Organizations : Defining the State of the Art. *Administrative Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/admsci9040094>
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S. I., LAMBIN, E., LENTON, T., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H. J., NYKVIST, B., de WIT, C., HUGHES, T., van der LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P., COSTANZA, R., SVEDIN, U., ... FOLEY, J. (2009). Planetary boundaries : exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- SAGE. (s. d.). *On-Premise : définition* [Sage Advice France]. Récupérée mars 30, 2025, à partir de <https://www.sage.com/fr-fr/blog/glossaire/on-premise-definition/>
- SERMONDADAZ, S. (2018). Le réchauffement climatique menace l'humanité de... 467 façons ! [Section : Climat]. *Sciences et Avenir*. [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/climat-467-types-de-catastrophes-menacent-l-humanite\\_129576](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/climat-467-types-de-catastrophes-menacent-l-humanite_129576)
- STEFFEN, W., ROCKSTRÖM, J., RICHARDSON, K., LENTON, T. M., FOLKE, C., LIVERMAN, D., SUMMERHAYES, C. P., BARNOSKY, A. D., CORNELL, S. E., CRUCIFIX, M., DONGES, J. F., FETZER, I., LADE, S. J., SCHEFFER, M., WINKELMANN, R., & SCHELLNHUBER, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- THOMAS, B., ERWANN, F., JULIA, M., MATHIEU, W., & ADEME. (2025). *Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France - Rapport final*. <https://librairie.ademe.fr/societe-et-politiques-publiques/7880-9522-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france.html>
- USETOX. (s. d.). *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative / USEtox®*. Récupérée mars 14, 2025, à partir de <https://usetox.org/partner/active/unepsetac-life-cycle-initiative>
- VAN OERS, L., DE KONING, A., GUINÉE, J. B., & HUPPES, G. (2002). Abiotic resource depletion in LCA. *Road and Hydraulic Engineering Institute, Ministry of Transport and Water, Amsterdam*. [https://web.universiteitleiden.nl/cml/ssp/projects/lca2/report\\_abiotic\\_depletion\\_web.pdf](https://web.universiteitleiden.nl/cml/ssp/projects/lca2/report_abiotic_depletion_web.pdf)
- VASSEUR, L., CHASSON, A., GHESQUIÈRE, Q., & HOP (HALTE À L'OBSOLESCENCE PROGRAMMÉE). (2019). *50 mesures pour une consommation et une production durables*. <https://www.halteobsolescence.org/publication/mesures-consommation-durables/>
- VITALI-ROSATI, M. (2014). Chapitre 4. Pour une définition du «numérique». In M. E. SINATRA (Éd.), *Pratiques de l'édition numérique* (p. 63-75). Presses de l'Université de Montréal. <https://doi.org/10.4000/books.pum.319>
- WIKIPÉDIA. (2025, mars 5). Indicateur d'efficacité énergétique. In *Wikipédia*. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Indicateur\\_d%27efficacit%C3%A9\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique&oldid=223593676](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Indicateur_d%27efficacit%C3%A9_%C3%A9nerg%C3%A9tique&oldid=223593676)
- WOLF, M.-A., CHOMKHAMSI, K., BRANDAO, M., PANT, R., ARDENTE, F., PENNINGTON, D., MANFREDI, S., DE CAMILLIS, C., GORALCZYK, M., & INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (CENTRE COMMUN DE RECHERCHE). (2010). *In-*

*ternational reference life cycle data system (ILCD) handbook - general guide for life cycle assessment - detailed guidance.* <https://doi.org/10.2788/38479>

WOLFF, A. (2015, octobre 10). *Bilan Carbone®* [Techniques de l'Ingénieur]. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/chimie-verte-principes-reglementations-et-outils-d-evaluation-42490210/bilan-carbone-g1819/>

WRI AND WBCSD. (2011). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard – Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard.* World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. <https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard>

# Annexes

## A Présentation approfondie des outils d'évaluation environnementale du numérique

### A.1 monacvnumerique.fr

Le site **monacvnumerique.fr** est un outil développé dans le cadre du projet *Global Eco Concept*, porté par la Région Hauts-de-France, l'entreprise de services numériques norsys<sup>6</sup> et la dynamique rev3<sup>7</sup>.

Cet outil gratuit (réservé pour l'instant aux entreprises françaises) propose une approche simplifiée de l'analyse de cycle de vie (ACV) **uniquement** des services numériques. Il a été conçu dans l'optique d'apporter une alternative rapide et accessible aux organisations, face à la complexité et au coût des ACV traditionnelles.

**Lien :** [www.globalecoconcept.com](http://www.globalecoconcept.com)

#### Contexte méthodologique :

- L'outil se base sur le **PCR** (*Product Category Rules*) développé par l'ADEME pour le secteur des services numériques (BUREAU VERITAS et al., 2021).
- Il intègre cinq **critères d'impact environnemental** :
  - Changement climatique ;
  - Épuisement des ressources ;
  - Émissions de particules fines ;
  - Radiations ionisantes ;
  - Acidification.
- Ces impacts sont évalués par rapport aux contributions par être humain, permettant ainsi une lecture simplifiée et normalisée des résultats environnementaux.

**Domaines analysés :** monacvnumerique.fr couvre cinq grands domaines du numérique :

- Postes de travail ;
- Réseaux ;
- Datacenters (avec certaines limites sur la prise en compte du cloud, ici exclu) ;
- Organisation humaine (déplacements professionnels, bâtiments) ;
- Terminaux utilisateurs.

---

6. norsys est une entreprise de services numériques spécialisée dans le conseil en ingénierie informatique et le numérique responsable (NORSYS, s. d.).

7. rev3 est une initiative des Hauts-de-France pour accompagner la transition énergétique, environnementale et numérique (REV3, s. d.).

**Fonctionnement général :**

- L'utilisateur remplit un **questionnaire court** d'environ 10 questions décrivant les grandes caractéristiques du service numérique analysé (voir Figure 1).

|        |                                              |           | 2024     | 2025     | 2026     |
|--------|----------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| PROJET | Charges                                      | J/H       | 800      | 240      | 200      |
|        |                                              |           |          |          |          |
| USAGE  | Nombre d'utilisation par an                  | 123       | 44000000 | 44000000 | 44000000 |
|        | Nombre de pages moyen consultées par session | 123       | 6        | 6        | 6        |
|        | Temps moyen par session                      | min       | 3.5      | 3.5      | 3.5      |
|        | Taux d'usage en mobilité                     | %         | 100      | 100      | 100      |
|        | Type de contenu disponible                   |           | L        | L        | L        |
| INFRA  | Nombre de serveurs                           | 123       | 1        | 1        | 1        |
|        | Type de serveurs                             |           | M        | M        | M        |
|        | Nombre heures de disponibilité serveurs      | heures/an | 8766     | 8766     | 8766     |
|        | Volume de stockage serveurs                  | To        | 0.0015   | 0.0015   | 0.0015   |

FIGURE 1 – Exemple de questionnaire d'entrée sur monacvnumerique.fr

- L'outil propose des **paramètres de scénarios** pour simuler différentes situations d'usage (voir Figure 2).

☒ Afficher les paramètres du scénario

|                        |                                                        | 2024         | 2025 | 2026 |      |
|------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|------|------|------|
| PARAMÈTRES DU SCÉNARIO | Superficie de travail/collaborateur                    | m²           | 12   | 12   | 12   |
|                        | Nombre de jours de travail par collaborateur           | jours/an     | 220  | 220  | 220  |
|                        | Taux de présentiel                                     | %            | 40   | 40   | 40   |
|                        | Distance parcourue en voiture par collaborateur        | km/jour      | 26.6 | 26.6 | 26.6 |
|                        | Distance avec le(s) client(s)/partenaire(s)            | km           | 19.2 | 19.2 | 19.2 |
|                        | Fréquence de visite chez le(s) client(s)/partenaire(s) | visites/mois | 4    | 4    | 4    |
|                        | Taux d'équipement véhicule hors thermique              | %            | 3.2  | 3.2  | 3.2  |
|                        | Durée de vie d'un ordinateur portable                  | ans          | 5    | 5    | 5    |
|                        | Durée de vie d'un écran                                | ans          | 6    | 6    | 6    |

FIGURE 2 – Exemple de paramètres de scénario sur monacvnumerique.fr

- Les résultats sont fournis sous forme de **graphes d'impact multicritères** (voir Figure 3) ainsi que sous forme de **propositions concrètes d'actions** pour réduire l'empreinte environnementale du service (voir Figure 4).



FIGURE 3 – Exemple de résultats d'analyse sur monacvnumerique.fr



FIGURE 4 – Exemple de conseils d'améliorations sur monacvnumerique.fr

- Des **projections d'améliorations** sont également disponibles pour visualiser l'effet de différentes stratégies de réduction sur plusieurs années (voir Figure 5).

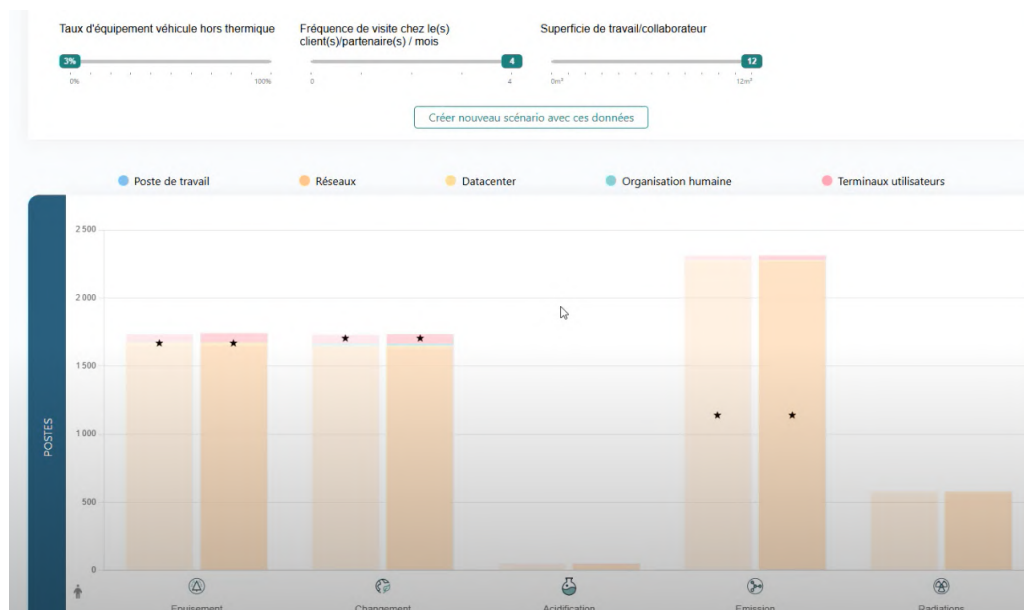


FIGURE 5 – Exemple de projection d'améliorations sur monacvnumerique.fr

**Philosophie et limites de l'outil :** Comme l'a expliqué Christophe Porchet de norsys lors du webinar de lancement officiel du 4 mars 2025 :

- L'ACV est particulièrement adaptée pour évaluer l'impact du numérique, car l'essentiel du coût environnemental est lié à la fabrication du matériel.
- L'ACV permet aussi de projeter les impacts sur plusieurs années et d'évaluer l'effet des mesures correctrices dans la durée.

Cependant, une ACV classique reste souvent inaccessible pour de nombreuses organisations en raison :

- du coût élevé des bases de données fiables ;
- du temps important nécessaire pour réaliser une évaluation fine ;
- des compétences techniques requises.

Ainsi, **monacvnumerique.fr** adopte une **approche pragmatique** : il privilégie la fourniture de résultats rapides, moyennement précis mais directement actionnables, plutôt qu'une évaluation exhaustive lourde et coûteuse. L'outil vise donc la démocratisation de l'évaluation environnementale des services numériques auprès d'un large public d'organisations.

**Spécificité du périmètre évalué :** Il est important de souligner que **monacvnumerique.fr** est spécifiquement conçu pour l'analyse **de services numériques**, et non pour une vision organisationnelle globale.

- Chaque service (ex : une application métier, un site web) est évalué individuellement.
- Une vue d'ensemble peut être approximativement reconstituée en agrégeant les résultats des différents services évalués, mais cela reste une approche indirecte.

Par ailleurs, l'outil est fortement orienté **serveurs et infrastructures applicatives** :

- Il prend bien en compte le nombre de serveurs, leur taille, leur type ainsi que la nature des contenus hébergés.
- En revanche, l'impact environnemental du **parc IT utilisateur** (ordinateurs portables, smartphones, écrans, périphériques) est intégré de manière très simplifiée, via des hypothèses moyennes non personnalisables.

### Vision stratégique :

- monacvnumerique.fr se concentre sur la **capacité à agir rapidement**, en fournissant en quelques heures seulement un diagnostic environnemental synthétique et des pistes d'amélioration concrètes.
- L'outil met en avant l'importance d'intervenir **le plus tôt possible** dans la durée de vie des projets numériques, car plus un projet est avancé, moins les possibilités de réduction d'impact sont importantes.

**Contraintes d'accessibilité :** Actuellement, l'accès à l'outil est **réservé aux entreprises immatriculées en France**, disposant d'un numéro SIREN valide. Cette restriction géographique limite son utilisation potentielle à l'international.

**Conclusion spécifique :** monacvnumerique.fr n'a pas pour ambition de remplacer une ACV complète selon les standards ISO 14040/44 ou PEF, mais plutôt de rendre l'analyse environnementale accessible au plus grand nombre pour les services numériques.

Son approche centrée sur les serveurs et l'infrastructure applicative est particulièrement adaptée aux projets web, logiciels et applicatifs. En revanche, pour évaluer de manière fine l'ensemble d'un système d'information (notamment les équipements utilisateurs), ou pour obtenir une vision multicritère organisationnelle complète, d'autres outils ou méthodologies devront être mobilisés en complément.

## A.2 Outil maison sous Excel

Développer son propre outil maison, typiquement sous Excel, constitue une approche flexible pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique dans son organisation.

### Contexte méthodologique :

- Cette approche repose sur la construction manuelle d'un inventaire environnemental adapté aux spécificités de l'organisation.
- Elle peut s'appuyer sur des bases de données publiques telles que la *Base Empreinte* de l'ADEME ou *Boavista*, ou sur des bases de données propriétaires, plus fine, comme *ecoinvent* ou *Resilio* (un coût supplémentaire est alors à prévoir).

### Fonctionnement général :

- L'utilisateur construit ses propres tableaux pour recueillir les données d'inventaire (nombre d'équipements, consommations énergétiques, etc.) (voir Figure 6).





### Limites principales :

- **Fiabilité dépendante de la rigueur du concepteur** : sans connaissance solide des méthodologies ACV, le risque d'erreurs de calcul est élevé.
- **Temps initial d'élaboration** : bien qu'il ne soit pas rédhibitoire, le temps nécessaire pour construire un outil fiable et cohérent reste significatif.
- **Complexité des mises à jour** : en fonction des évolutions méthodologiques, l'outil peut devenir obsolète s'il n'est pas mis à jour.

**Conclusion spécifique** : Construire son propre outil est une solution idéale pour les organisations souhaitant un haut niveau de personnalisation, disposant de ressources humaines motivées et prêtes à s'investir dans la compréhension des enjeux méthodologiques de l'ACV.

## A.3 NumEcoEval

**NumEcoEval** est un outil open-source développé par la Direction du Numérique Responsable au sein du Ministère de la Transition Écologique français.

**Lien** : [www.ecoresponsable.numerique.gouv.fr](http://www.ecoresponsable.numerique.gouv.fr)

### Contexte méthodologique :

- L'outil s'inscrit dans une approche multicritère complète, appliquée à l'évaluation environnementale du système d'information des organisations.
- Il a été conçu spécifiquement pour évaluer les systèmes numériques, ce qui le rend particulièrement adapté aux spécificités de ce domaine.
- Sa méthodologie s'appuie sur les référentiels de l'ADEME, garantissant une rigueur méthodologique validée.

### Fonctionnement général :

- À ce stade, l'inventaire d'entrée doit être réalisé sous forme de tableaux Excel structurés selon un format précis imposé par l'outil.
- Une interface graphique plus conviviale est en cours de développement pour faciliter la saisie de l'inventaire.
- L'évaluation couvre l'ensemble du périmètre numérique d'une organisation : terminaux utilisateurs, serveurs, datacenters, réseaux, avec également une extension prévue aux infrastructures physiques (bâtiments, déplacements associés).
- L'outil permet d'adapter les calculs à différents contextes géographiques grâce à l'intégration des mix énergétiques de nombreux pays.

### Forces de l'approche :

- **Gratuit et open-source**, accessible à toutes les organisations.
- **Spécifiquement développé pour le numérique**, avec une très bonne adaptation aux particularités du domaine.
- **Approche organisationnelle complète** : prise en compte de l'ensemble des équipements, infrastructures et usages numériques.

- **Interface graphique** encore en cours de développement, mais tout de même déjà très ergonomique (voir Figure 8).

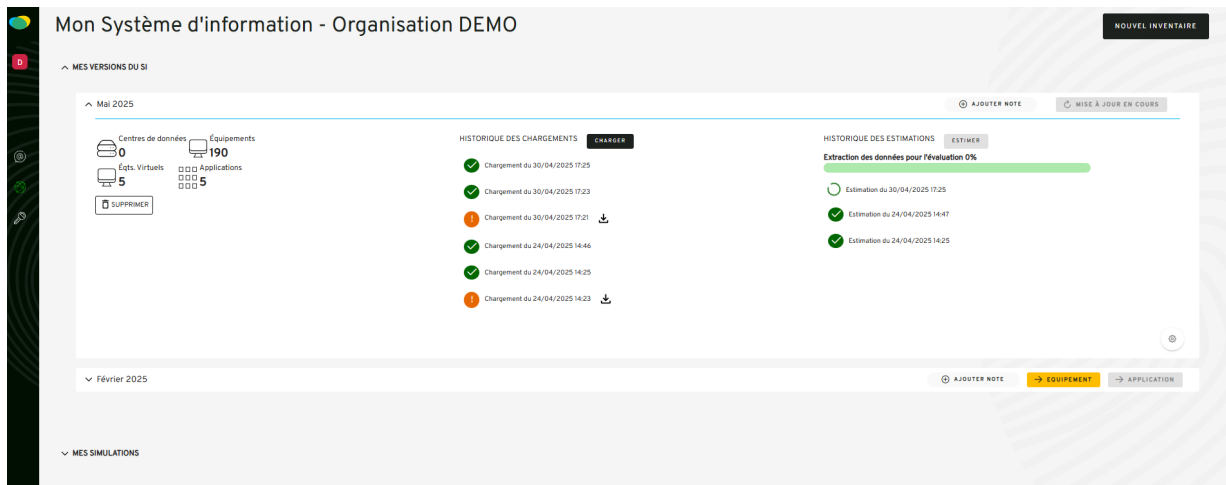


FIGURE 8 – Interface graphique d'accueil de l'outil NumEcoEval

- **Résultats multicritères complets**, présentés sous divers angles d'analyse :
  - par phases du cycle de vie (fabrication, utilisation, fin de vie) (voir Figure 9) ;
  - par types d'équipements (serveurs, laptops, smartphones, etc.) ;
  - par services ou applications internes (voir Figure 10) ;
  - par sites géographiques ou pays d'implantation.
  - etc.

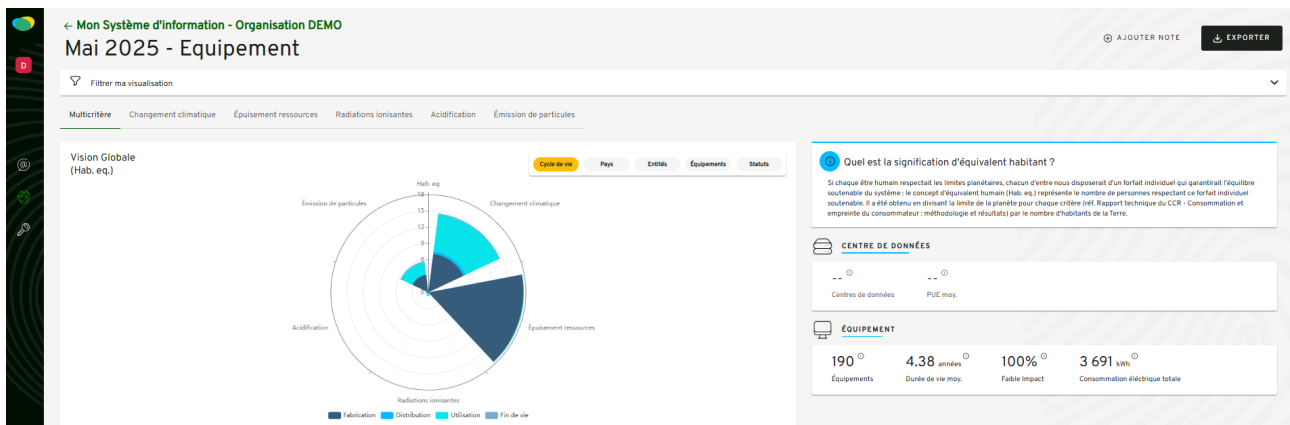


FIGURE 9 – Exemple de graphique de résultat selon les phases ACV de l'outil NumEcoEval

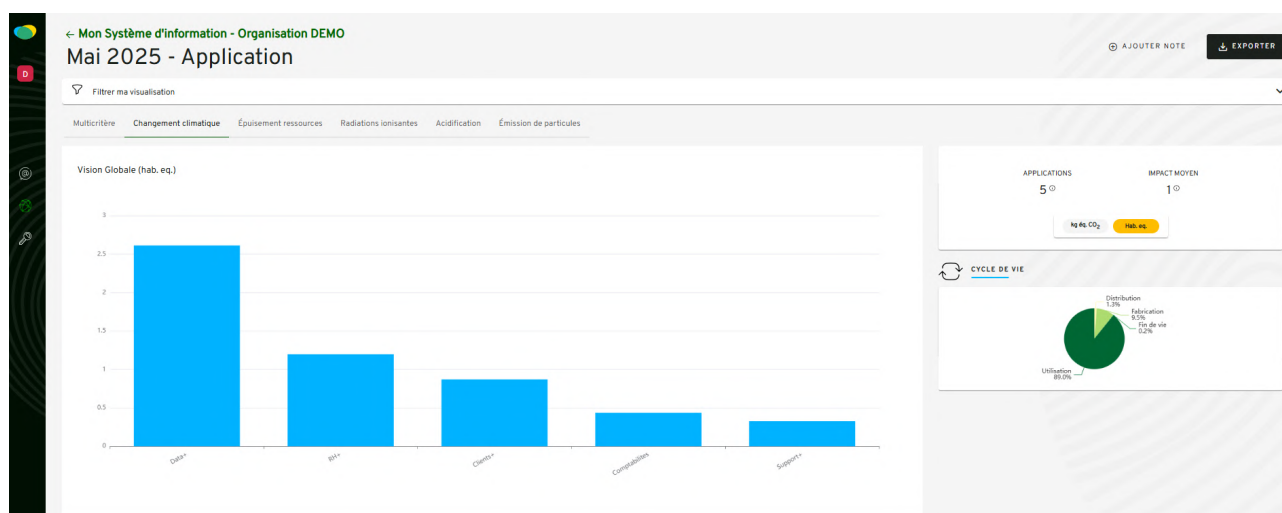


FIGURE 10 – Exemple de graphique de résultat selon les applications internes de l’outil NumEcoEval

- **Souplesse sur certains paramètres** : possibilité d’ajuster des hypothèses de durée de vie, d’usage, de types d’équipements, etc.

### Limites principales :

- **Prise en main encore complexe** : l’utilisateur doit maîtriser la structuration attendue des fichiers d’inventaire, ce qui peut constituer une barrière initiale.
- **Personnalisation avancée difficile** : même si certains paramètres sont adaptables nativement, modifier ou ajouter des données plus profondes (ex : création de nouveaux équipements, ajustement des facteurs d’impact) est techniquement complexe.
- **Hébergement de l’outil** : l’outil étant encore en développement, il est assez lourd et compliqué de l’héberger (hébergement sous docker en local, énergivore en ressource)

**Conclusion spécifique :** NumEcoEval constitue aujourd’hui une option solide et gratuite pour les organisations publiques et privées souhaitant mener une **évaluation environnementale rigoureuse, complète et adaptée au numérique**. Bien que sa personnalisation avancée soit encore perfectible et son usage légèrement technique, ses résultats détaillés, multicritères et multi-échelles permettent d’identifier efficacement les principaux postes d’impact et d’alimenter des plans d’actions environnementaux robustes.

## A.4 Logiciels d’ACV (OpenLCA, SimaPro, etc.)

Les logiciels classiques d’Analyse du Cycle de Vie (ACV), tels que **OpenLCA** (open-source) ou **SimaPro** (commercial), sont historiquement les outils de référence pour réaliser des évaluations environnementales multicritères rigoureuses et exhaustives.

### Contexte méthodologique :

- Ces logiciels permettent de modéliser des systèmes complexes en suivant fidèlement les standards internationaux ISO 14040/14044.
- Ils s’appuient sur des bases de données très détaillées (ecoinvent, GaBi, ELCD, etc.) couvrant une multitude de processus industriels, matériaux, flux énergétiques et impacts environnementaux.

### Fonctionnement général :

- L'utilisateur construit un modèle numérique de l'organisation en reliant manuellement chaque flux d'entrée et de sortie à des processus environnementaux spécifiques.
- Chaque équipement, composant ou service est peut être modélisé individuellement : composition matérielle, processus de fabrication, distances de transport, scénarios d'usage, consommation énergétique en phase d'utilisation, scénarios de fin de vie, etc.
- L'évaluation suit le cycle complet ACV : inventaire des flux, classification des impacts, caractérisation selon différentes méthodes, et éventuellement normalisation et pondération des résultats.

### Forces de l'approche :

- **Précision maximale** : possibilité de modéliser son système à un niveau extrêmement fin et réaliste.
- **Personnalisation totale** : tout peut être adapté selon la réalité de l'organisation : composition des équipements, modes et distances de transport, mix énergétique, hypothèses de fin de vie, etc.
- **Analyse multicritère exhaustive** : résultats détaillés sur des dizaines de catégories d'impacts environnementaux.
- **Capacité à identifier précisément les hotspots environnementaux** : possibilité de tracer l'origine des impacts par équipement, fournisseur, matériau, site géographique ou phase du cycle de vie.
- **Suivi transparent des hypothèses et calculs** : tous les choix et paramètres sont documentés et auditable.

### Limites principales :

- **Niveau d'expertise élevé requis** : comprendre et modéliser les flux (matières premières, énergie, déchets) impose une solide connaissance de la mécanique de l'ACV.
- **Outil généraliste** : Les logiciels d'ACV sont multi-domaines ce qui peut poser des problèmes au niveau des données, des critères d'impact, etc. qui ne sont pas toujours adaptés au domaine du numérique.
- **Temps d'apprentissage long** : plusieurs semaines sont souvent nécessaires pour maîtriser pleinement les outils et les bases de données associées.
- **Interface peu ergonomique** : Il s'agit d'outils professionnels et experts qui ne sont pas des plus intuitifs. Les interfaces sont chargées et peu ergonomiques (voir Figure 11).

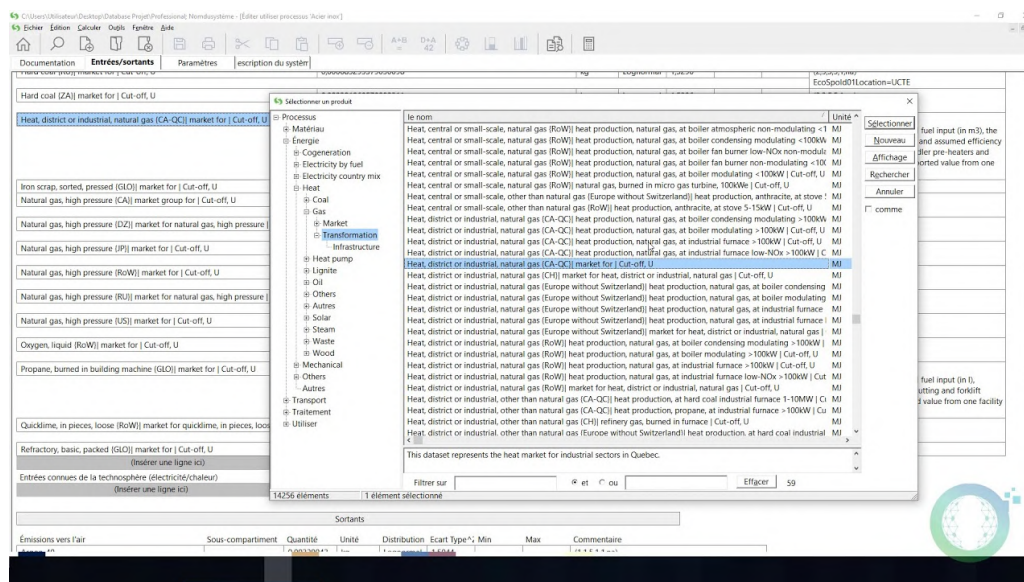


FIGURE 11 – Interface graphique de SimaPro

- **Complexité des choix méthodologiques** : chaque étape nécessite des décisions éclairées (choix du type de base de données, choix de la méthode de caractérisation, modélisation de la consommation, etc.).
- **Interprétation délicate des résultats** : le volume d'informations produit est très important, ce qui demande des compétences spécifiques pour analyser correctement les résultats et en extraire des enseignements opérationnels.
- **Coûts potentiels élevés** : certaines licences (ex : SimaPro) sont payantes, et les bases de données de haute qualité (ex : ecoinvent) nécessitent souvent des abonnements coûteux.
- **Charge de travail importante** : la réalisation complète d'une ACV organisationnelle avec ces outils peut nécessiter plusieurs semaines de modélisation et d'analyse.

**Conclusion spécifique** : Les logiciels classiques d'ACV représentent l'option la plus robuste pour réaliser une évaluation environnementale extrêmement précise et personnalisée au sein d'une organisation (avec certaines adaptations à mettre en place pour le numérique). Ils sont cependant réservés à des structures disposant de ressources suffisantes (temps, compétences ACV, budget pour les bases de données), ou à des projets nécessitant une rigueur scientifique maximale (communication publique, stratégie RSE avancée, écoconception poussée, etc.).

## B Cas d'étude

Nous allons appliquer la **méthodologie O-LCA** à un cas d'étude fictif grâce au guide officiel MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2015 afin d'illustrer concrètement la mise en oeuvre de cette approche dans un contexte numérique.

Ce cas d'étude est **fictif** en raison des contraintes temporelles liées à cette analyse. La collecte de données spécifiques précises au sein d'un véritable département IT aurait exigé un travail d'enquête approfondi, rendant difficile la production d'une évaluation détaillée dans le délai imparti. Par conséquent, un scénario type a été défini afin de permettre une modélisation cohérente et une application rigoureuse de la méthodologie.

Pour réaliser cette mise en application, nous avons mobilisé **trois outils** parmi ceux présentés précédemment (voir 2.4) : *monacvnumerique.fr*, un *outil maison sous Excel* développé dans le cadre de ce travail et *NumEcoEval*. Ces outils ont permis de conduire différentes étapes clés de l'analyse (inventaire, évaluation des impacts, et interprétation des résultats) selon des logiques et des niveaux d'exigence méthodologique variés.

En revanche, les **logiciels classiques d'ACV**, tels que OpenLCA ou SimaPro, n'ont pas été utilisés. Leur mise en oeuvre nécessitant une formation approfondie, une modélisation détaillée et un investissement temporel conséquent, ils se sont révélés inadaptés au cadre temporel limité de ce mémoire, même pour un cas simplifié.

Ce recours à plusieurs outils ne vise pas à répéter inutilement les démarches, mais à offrir une **lecture comparative pragmatique** des différents niveaux d'approfondissement envisageables selon les besoins, les compétences disponibles et les ressources que les organisations peuvent mobiliser pour évaluer leur numérique.

### B.1 Définition des objectifs et du champ d'étude (étape I)

#### Objectifs de l'analyse

##### **Pourquoi réaliser une ACV-O ?**

L'ACV-O est réalisée pour aider l'entreprise à **réduire les pressions environnementales** liées à son numérique et son département IT avec comme sous-objectifs :

- Suivre la performance environnementale dans le temps,
- Soutenir la prise de décision stratégique,
- Améliorer les procédures organisationnelles.

##### **À quelles questions cherchons-nous à répondre ?**

Quels sont les principaux **hotspots environnementaux** du numérique dans l'entreprise ?

- Quels produits et services IT contribuent le plus à l'impact environnemental ?
- À quel niveau de la chaîne de valeur ces impacts sont-ils générés ?
- Quels actifs ou habitudes du département IT sont particulièrement impactants ?

##### **Qui utilisera les résultats ?**

- Les décideurs.
- Les responsables des achats.
- Les chefs de projets.
- Le responsable IT
- Tous les employés.

## Que souhaitons-nous évaluer ?

L'impact environnemental du **numérique** dans l'entreprise.

- Le département IT lui-même.
- Les produits et services numériques fournis ou utilisés par l'entreprise :
  - Applications internes (facturation, RH, etc.).
  - Actifs numériques (PC, téléphones, périphériques, etc.).

## Objectifs synthétisés de l'analyse O-LCA

L'objectif principal est d'évaluer l'empreinte environnementale du numérique et du département IT d'une entreprise fictive de taille moyenne (100 employés). Cette analyse vise à :

- Comprendre les pressions environnementales liées aux opérations IT.
- Identifier les *hotspots* environnementaux (activités, équipements, services).
- Suivre la performance environnementale pour améliorer les pratiques.
- Fournir des informations stratégiques pour la gestion des équipements et des achats.
- Sensibiliser les parties prenantes aux enjeux environnementaux du numérique.

## Périmètre de l'analyse

### Organisation étudiée

L'analyse porte sur le **département IT** d'une entreprise fictive d'une centaine d'employés située en Belgique. Le département comprend 5 à 10 employés.

### Méthode de consolidation

Dans notre cas d'étude simplifié, le département est considéré comme une organisation unique, sans filiales ni opérations partagées. Ce choix a été fait dans le but de se focaliser sur les spécificités d'une analyse ACV-O appliquée au numérique, plutôt que sur la complexité structurelle des entreprises, un aspect déjà développé dans le guide de référence.

Ainsi, le département IT assume l'intégralité des impacts environnementaux liés au numérique, puisqu'il exerce une influence directe sur ce domaine d'activité. Il est donc désigné comme l'**organisation déclarante**, c'est-à-dire l'entité responsable des impacts environnementaux dans notre ACV-O.

### Période de référence

La période d'analyse est d'**un an**, conformément aux recommandations du guide O-LCA (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015). Cette durée correspond au cycle d'exploitation classique de l'organisation et à la période de validité des résultats.

### Unité fonctionnelle

le nombre d'heures consacrées à chaque service fourni par le département est détaillé ci-dessous. Dans notre contexte, l'**unité fonctionnelle correspondrait plutôt à la fourniture de solutions numériques** à destination de l'entreprise et de ses employés (applications de facturation, équipements informatiques, etc., pour une centaine de collaborateurs). Notre rôle est d'assurer la mise à disposition de ces services tout en minimisant leur impact environnemental. Il reviendra à l'entreprise, dans le cadre de son évaluation globale, de remettre en question les demandes adressées au département IT ainsi que la quantité de ressources numériques souhaitée. Cela n'empêche pas pour autant le département IT de jouer un rôle proactif en questionnant à son tour les besoins exprimés par l'entreprise, et en les challengeant quant à la réelle utilité du numérique dans la réalisation de certaines tâches

## Flux de reporting

Le flux de reporting mesure les services fournis par le département IT sur une année. Il répond aux questions : *Quoi ? Combien ? Quelle qualité ? Quelle durée ?*, assurant la cohérence avec l'inventaire de l'O-LCA (MARTÍNEZ BLANCO et al., 2015).

### Nature des services IT - *Quoi ?*

- Gestion des infrastructures IT : serveurs *on-premise*<sup>8</sup> et équipements réseau.
- Gestion et administration du parc IT : laptops, licences logicielles et cloud (e.g MS365<sup>9</sup>), smartphones, équipements audiovisuels et périphériques informatiques individuels.
- Support aux utilisateurs/employés : gestion des tickets de support et remplacement de matériel défectueux.
- Développement et maintenance des applications internes :
  - Comptabilité+ (facturation)
  - Clients+ (gestion clients)
  - RH+ (gestion du personnel)
  - Support+ (suivi des demandes IT)
  - Data+ (rapports et analyses)

### Quantification des services IT - *Combien ?*

- Infrastructures :
  - 5 serveurs *on-premise*,
  - 3 switches et 1 routeur
- Parc informatique :
  - 110 laptops,
  - 100 comptes MS365,
  - 50 smartphones,
  - 15 équipements audiovisuels (TV, projecteurs, etc.),
  - 100 périphériques informatiques individuels (écrans, claviers, souris, imprimantes)
- Support et maintenance : 400 tickets/an, mises à jour mensuelles

Répartition du temps IT (5 employés, 8 800 h/an) :

- Infrastructures et réseau : 2 000 h (23%)
- Gestion du parc IT : 2 500 h (28%)
- Support et maintenance : 1 300 h (15%)
- Développement et applications : 3 000 h (34%)

---

8. *On-premise* « traduction de "sur site", les infrastructures informatiques et logicielles sont appelées *on-premise* lorsque celles-ci sont hébergées et maintenues par le propre service informatique de l'entreprise » (SAGE, s. d.).

9. MS365 ou Microsoft 365 est une plateforme de productivité basé sur le cloud qui vous donne accès à une suite d'applications professionnelles bien connues, telles que Microsoft Word, Excel ou Teams (ONE.COM, s. d.)



## Performance des services IT - *Quelle qualité ?* et *Quelle durée*

- Disponibilité : Applications internes 99,5%, Cloud 99,9%.
- Support : Temps de résolution moyen 4h, satisfaction utilisateur 85%.
- Consommation énergétique des serveurs *on-premise* : 1 6000 kWh/an (PUE<sup>10</sup> 2,6).
- Durée de vie des appareils :
  - Laptops et imprimantes : 4 ans
  - Smartphones : 3 ans
  - Serveurs *on-premise* et équipements réseau : 6 ans
  - Équipements audiovisuels et périphériques : 7 ans
  - Applications internes : mises à jour tous les 2 ans

### **Frontières du système et cycle de vie couvert**

L'évaluation suit une approche *cradle-to-grave*, intégrant toutes les étapes du cycle de vie des équipements, services numériques et infrastructures IT.

## Périmètre de l'évaluation selon les étapes du cycle de vie

### **1. Fabrication et acquisition**

- Fabrication et achat des équipements IT (laptops, smartphones, périphériques, etc.)
- Production et mise en place des infrastructures IT (serveurs *on-premise*, Cloud MS365)
- Développement des applications internes (Comptabilité+, Clients+, RH+, etc.)

### **2. Utilisation et exploitation**

- Consommation énergétique des serveurs, équipements IT et infrastructures Cloud
- Support et maintenance : gestion des tickets, mises à jour, assistance IT

### **3. Fin de vie et recyclage**

- Mise au rebut et recyclage des équipements IT en fin de vie
- Gestion des déchets électroniques et des composants toxiques
- Renouvellement du matériel IT et impact environnemental associé

## Flux entrants et sortants

### **1. Flux entrants :**

- Équipements IT achetés
- Services Cloud et logiciels utilisés
- Électricité consommée par les serveurs et les postes de travail

### **2. Flux sortants :**

- Déchets électroniques et équipements obsolètes
- Émissions associées à l'usage du numérique
- Consommation énergétique globale du département IT

---

10. « L'indicateur d'efficacité énergétique (en anglais PUE ou *Power Usage Effectiveness* est utilisé pour qualifier l'efficacité énergétique d'un centre de données » (WIKIPÉDIA, 2025).

### Justification des exclusions et limites de l'étude

Le bâtiment (incluant sa construction, ainsi que son utilisation via l'éclairage, le chauffage et la climatisation) et les trajets domicile-travail des employés ont été exclus du périmètre de l'analyse. Bien que ces aspects aient une empreinte environnementale significative, leur collecte de données, leur modélisation et leur analyse sont chronophages et sortent du cadre de cette étude. L'objectif de ce travail étant d'appliquer la méthodologie O-LCA aux spécificités du numérique, ces éléments ont été laissés de côté pour des raisons de simplicité. Toutefois, dans le cadre d'une étude réelle, ces composantes **ne doivent impérativement pas être négligées ni exclues du périmètre**, car elles jouent un rôle majeur dans l'évaluation environnementale globale.

D'autres éléments ont également été écartés afin de recentrer l'analyse sur les activités IT. Ainsi, les consommables (cartouches d'encre, piles, savon, papier toilette, etc.), les équipements de bureau (chaises, bureaux, ampoules, etc.) ainsi que certains services annexes (restaurant d'entreprise) n'ont pas été intégrés. Leur impact, bien que non négligeable, ne relève pas directement des activités IT étudiées et s'éloigne des objectifs de l'analyse.

Par ailleurs, certaines données complexes, notamment celles liées aux infrastructures Cloud, sont considérées comme des données secondaires. Lorsque possible, elles seront estimées à partir de la littérature scientifique et des bases de données ACV reconnues (e.g. ecoinvent).

### Sources et qualité des données

Les données utilisées proviennent de :

- **Sources internes** : collecte directe auprès des services IT et des fournisseurs (données primaires établies sur la base de revues scientifiques pour notre cas d'étude fictif).
- **Bases de données ACV** : utilisation de données secondaires issues de référentiels reconnus (e.g. ecoinvent) pour compléter les données primaires et améliorer la robustesse de l'analyse.

## **B.2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (étape II)**

### Activités concernées

Les activités du département IT ont été structurées selon le cadre méthodologique recommandé par la méthodologie O-LCA, en distinguant les activités **directes** (contrôlées par l'organisation) et les activités **indirectes**.

**Les activités directes** désignent les opérations contrôlées par le département IT et les activités **indirectes amont** incluent la fabrication, le transport ou encore la production d'énergie. Les activités **indirectes aval** couvrent quant à elles les usages en aval et la fin de vie des équipements numériques.

Cette classification permet d'organiser efficacement les données d'inventaire en distinguant ce qui relève directement de l'organisation étudiée et ce qui se situe en dehors de son contrôle mais reste nécessaire à son fonctionnement.

### **Activités Directes (contrôlées par le département)**

- Gestion des infrastructures IT : gestion et maintenance des serveurs *on-premise*, du réseau interne et des équipements numériques.

- Consommation d'énergie liée aux équipements des employés (du département IT) travaillant à la gestion de l'infrastructure IT : électricité consommée par les laptops, écrans et autres équipements utilisés au quotidien.
- Gestion et administration du parc IT : gestion des laptops, licences logicielles, comptes cloud (MS365), smartphones, écrans et périphériques informatiques.
  - Consommation d'énergie liée aux équipements des employés (du département IT) travaillant à la gestion et administration du parc IT : électricité consommée par les laptops, écrans et autres équipements utilisés au quotidien.
- Support aux utilisateurs/employés : gestion des tickets de support et remplacement de matériel défectueux.
  - Consommation d'énergie liée aux équipements des employés (du département IT) travaillant au support : électricité consommée par les laptops, écrans et autres équipements utilisés au quotidien.
- Développement, utilisation et maintenance des applications internes : Comptabilité+, Clients+, RH+, Support+, Data+.
  - Consommation d'énergie liée aux équipements des employés (du département IT) travaillant au développement et à la maintenance des applications internes : électricité consommée par les laptops, écrans et autres équipements utilisés au quotidien.
  - Consommation d'électricité des serveurs on-premise, des équipements réseau (switches, routeurs) et des systèmes de refroidissement hébergeant chaque application.
  - Consommation d'eau et de fluide frigorigène par le système de refroidissement des serveurs hébergeant chaque application.
  - Émissions liées aux systèmes de refroidissement des serveurs hébergeant chaque application (production de chaleur et rejets thermiques).

#### **Activités Indirectes Amont (en amont du département, mais impactant ses activités)**

- Production et extraction des matières premières pour les équipements IT : extraction des métaux rares, fabrication des composants électroniques (CPU, batteries, etc.).
- Fabrication des équipements IT : production des laptops, smartphones, serveurs, périphériques (claviers, écrans, imprimantes, etc.).
- Transport des équipements IT et infrastructures : acheminement des laptops, smartphones, serveurs et autres équipements jusqu'à l'entreprise.
- Extraction, production et distribution de l'électricité consommée : impact des fournisseurs d'énergie alimentant le département et ses serveurs.
- Fabrication et maintenance des infrastructures cloud externes : production et maintenance des datacenters de Microsoft 365 utilisés par l'entreprise.
- Externalisation de services IT externes : impact lié à l'utilisation des services cloud (Microsoft 365).

#### **Activités Indirectes Aval (après l'utilisation par le département)**

- Utilisation des équipements du parc IT fournis aux employés (hors département IT) : électricité consommée par les laptops, écrans et autres équipements utilisés au quotidien.
- Fin de vie des équipements IT : gestion du recyclage et des déchets électroniques par des prestataires après leur utilisation par l'entreprise.

## Inventaires des stocks

L'inventaire est une étape centrale dans la réalisation d'une analyse du cycle de vie organisationnelle (ACV-O). Conformément au guide O-LCA (MARTÍNEZ-BLANCO et al., 2015), deux types de données sont mobilisables : les **données spécifiques** (ou primaires) et les **données génériques** (ou secondaires). Les données spécifiques sont issues de mesures ou de collectes directes représentatives des processus ou activités directes définis (voir B.2), tandis que les données génériques proviennent de bases de données ou publications tierces, sans lien direct avec l'organisation étudiée.

Dans notre cas, l'étude repose sur un département IT fictif d'une petite entreprise belge d'environ 100 personnes. Le caractère fictif de l'étude implique que l'ensemble des **données spécifiques** nécessaires (nombre d'ordinateurs, de serveurs, temps d'utilisation, puissance électrique, etc.) seront définies de manière cohérente avec ce que l'on pourrait raisonnablement observer dans une entreprise de cette taille disposant d'un petit département IT. Ces données ont déjà été établies en grande partie dans les sections précédentes, notamment lors de la définition du périmètre organisationnel et du flux de reporting (voir B.1). Ces données spécifiques ont pour objectif principal d'illustrer l'approche méthodologique et les résultats possibles d'une O-LCA appliquée au numérique. Elles ne prétendent pas refléter la réalité d'une entreprise particulière, mais pourraient facilement être ajustées pour un cas réel, en fonction des données disponibles dans l'organisation concernée.

Il est important de noter que dans notre cas d'étude, l'organisation étudiée est supposée être **très peu expérimentée** dans l'évaluation environnementale. Conformément aux recommandations du guide O-LCA pour ce type d'organisation, la collecte de données spécifiques reste donc volontairement limitée lors de la première analyse. Nous avons défini nous même uniquement le strict minimum nécessaire à la modélisation des activités internes (voir B.2). Le reste de l'inventaire repose essentiellement sur des données génériques provenant de bases reconnues (Base Empreinte, ecoinvent) ou de la littérature scientifique. Cela reflète de manière réaliste la situation d'une entreprise qui, dans sa **première année** d'analyse O-LCA, ne dispose que de peu d'informations précises sur sa chaîne de valeur, ses fournisseurs ou les impacts détaillés de ses opérations.

Ce choix méthodologique permet également d'illustrer une pratique courante en ACV organisationnelle : **l'utilisation d'hypothèses et de données existantes** comme point de départ, dans le but de poser un premier diagnostic global. Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, il est attendu qu'une telle entreprise affine progressivement son inventaire au fil des années, en intégrant de plus en plus de données spécifiques représentatives de ses opérations réelles. Cette approche progressive assure un bon équilibre entre pertinence environnementale, faisabilité technique et engagement organisationnel.

Afin de concrétiser l'analyse de l'inventaire dans notre cas d'étude, nous avons mobilisé trois outils présentés précédemment (voir 2.4) : monacvnumerique.fr, un Excel maison, et NumEcoEval. Ces outils ont été utilisés pour structurer l'inventaire selon leurs spécificités, chacun présentant des approches différentes en termes de saisie, de sources de données, de niveau de personnalisation et de rigueur méthodologique. Les inventaires des outils ont été remplis avec les données spécifiques fictives du cas d'étude (voir B.2).

## Données spécifiques fictives du cas d'étude

### Ressources globales du département IT à partager entre les différentes activités (services)

- Infrastructure IT :
  - 5 serveurs *on-premise*,
  - 3 switches,
  - 1 routeur
- Parc IT du département comprenant le matériel quotidien des 5 employés du département :
  - 8 laptops,
  - 5 comptes MS365,
  - 6 smartphones,
  - 2 TV (42 pouces),
  - 1 projecteur,
  - 8 écrans,
  - 5 claviers et souris,
  - 1 imprimantes

### Répartition du temps IT (5 employés, 8 800 h/an)

- Infrastructures IT : 2 000 h (23%)
- Parc IT : 2 500 h (28%)
- Support aux utilisateurs : 1 300 h (15%)
- Applications internes : 3 000 h (34%)

## **Données spécifiques fictives listées par activités**

- Gestion des infrastructures IT :
  - 23% du parc IT du département
- Gestion et administration du parc IT :
  - 28% du parc IT du département,
  - Parc IT de l'entreprise (hors département IT) <sup>11</sup> :
    - 102 laptops
    - 95 comptes MS365,
    - 44 smartphones,
    - 8 TV (42 pouces),
    - 4 projecteurs,
    - 25 écrans,
    - 25 claviers et souris,
    - 6 imprimantes
- Support aux utilisateurs :
  - 15% du parc IT du département
- Développement et maintenance des applications internes :

---

11.

- 34% du parc IT du département
  - 100% de l'infrastructure IT
- ↪ Redistribution des impacts par application :
- Comptabilités+ : 8% des impacts
  - Clients+ : 16% des impacts
  - RH+ : 22% des impacts
  - Support+ : 6% des impacts
  - Data+ : 48% des impacts

#### Informations supplémentaires sur le matériel et les service IT

- Disponibilité : Applications internes 99,5%, Cloud 99,9%.
- Consommation énergétique des serveurs *on-premise* : 8 000 kWh/an (PUE : 2,6).
- Durée de vie des appareils :
  - Laptops : 4 ans
  - Smartphones : 3 ans
  - Écrans : 7 ans
  - TV : 8 ans
  - Imprimantes : 4 ans
  - Serveurs *on-premise* et équipements réseau : 5 ans
  - Équipements audiovisuels et périphériques : 7 ans

### Analyse de la qualité des données

L'analyse de la qualité des données est une étape essentielle pour garantir la robustesse des résultats d'une ACV organisationnelle. Dans notre étude, la qualité des données dépend fortement des outils et bases de données mobilisés, et varie donc selon les approches utilisées.

**monacvnumerique.fr** : L'outil monacvnumerique.fr s'appuie sur plusieurs sources de données reconnues, notamment la Base Empreinte, les données ouvertes de Boavizta, ainsi que certaines publications ou indicateurs de l'Arcep. Cependant, ces données ne sont pas accessibles directement par l'utilisateur final, ce qui limite fortement la transparence de l'approche. Il n'est pas possible de savoir précisément quelles données proviennent de quelle source, ni comment elles ont été agrégées ou adaptées.

La documentation fournie par les concepteurs reste relativement générale : si certaines limites et hypothèses de modélisation sont brièvement mentionnées dans les documents méthodologiques disponibles, l'analyse approfondie de la qualité des données individuelles reste impossible. L'utilisateur doit donc accorder une confiance importante à la rigueur méthodologique de l'équipe de développement, sans pouvoir tracer ni contrôler les données mobilisées pour ses propres résultats.

## **B.3 Évaluation des impacts du cycle de vie (étape III)**

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux, dans le cadre d'une ACV Organisationnelle comme celle appliquée ici au département IT, se distingue par sa brièveté opérationnelle : une fois l'inventaire établi (voir étape 2), cette phase repose essentiellement sur des **choix méthodologiques** (critères à retenir et méthode de caractérisation). Les calculs sont ensuite entièrement pris en charge par les outils utilisés, selon des méthodes standardisées.

## Méthodologie de caractérisation retenue

Tous les outils mobilisés dans notre étude (*monacvnumerique.fr*, *NumEcoEval*, outil Excel) s'appuient sur la méthode **Environmental Footprint (EF)** définie par la Commission européenne. Celle-ci propose 16 catégories d'impacts environnementaux, avec des facteurs de caractérisation homogènes et régulièrement mis à jour. Ce choix garantit une base de comparaison cohérente et scientifiquement solide entre les résultats produits par les différents outils.

## Choix des catégories d'impacts

Dans les outils *monacvnumerique.fr* et *NumEcoEval*, seuls les cinq indicateurs EF promulgués par la littérature sont conservés et mis en avant :

- Changement climatique (kg CO<sub>2</sub>-eq)
- Épuisement des ressources minérales (kg Sb-eq)
- Acidification (mol H<sup>+</sup>-eq.)
- Radiations ionisantes (kg U<sub>235</sub>-eq.)
- Émissions de particules (Disease occurrence)

Ce choix, bien qu'opérationnel, repose plus sur des conventions de secteur que sur une analyse personnalisée des impacts pertinents dans chaque cas d'étude.

À l'inverse, notre outil Excel a été conçu pour conserver **l'ensemble des 16 catégories EF** tout au long de l'analyse. Ce choix s'explique par le souhait de ne pas biaiser les résultats en imposant des filtres a priori. Une fois les résultats calculés, une phase d'analyse a permis d'identifier les catégories réellement significatives pour le système étudié (voir Figure 12).

| Inventaire                                                                                                                                                       | Quantité          | Impact :                            | PEF-ADPe (kg SB                           | PEF-ADPF (kg PEF-AP (mol H <sup>+</sup> + PEF-CTUE (CTU PEF-CTUH-c (CTU PEF-CTUH-nc (CTU PEF-Epf (kg P + PEF-Epm (kg N + PEF-Ept (mol N + PEF-GWP (kg CO <sub>2</sub> PEF-IR (kg U <sub>235</sub> PEF-LU (No dimen | PEF-ODP (kg CTC-11                  | PEF-PM (Disease occur               | PEF-POCP (kg NMVOC                                                                                                  | PEF-WU (m3 e                                                |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| REMARQUES :                                                                                                                                                      |                   |                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
|                                                                                                                                                                  |                   | NE RIEN MODIFIER DANS CETTE FEUILLE | → Feuille "Simulation équipement (non)IT" |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| Unité 1 an                                                                                                                                                       |                   |                                     |                                           | Non présent dans le mix énergétique                                                                                                                                                                                | Non présent dans le mix énergétique | Non présent dans le mix énergétique | négligables (certaines sources valeurs négatives et d'autres positives - risque de confusion) + Unité en point dans | certaines sources valeurs négatives et d'autres positives - |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| Liste équipements global                                                                                                                                         |                   |                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| Laptop                                                                                                                                                           | 110 unité         |                                     | 2,37E+01                                  | 9,69E+04                                                                                                                                                                                                           | 3,14E+01                            | 8,02E+04                            | 1,09E+05                                                                                                            | 3,54E+05                                                    | -3,46E+01 | 4,81E+00 | 4,39E+01 | 5,85E+03 | 7,99E+03 | -1,54E+03 | 1,53E+03 | 1,88E+04 | 1,43E+01 | -2,23E+04 |
| Compta M335                                                                                                                                                      | 100 unité         |                                     | 6,53E+01                                  | 3,62E+05                                                                                                                                                                                                           | 5,08E+01                            | 1,47E+05                            | 2,79E+05                                                                                                            | 9,81E+05                                                    | 9,53E+02  | 6,53E+00 | 6,59E+01 | 8,08E+03 | 4,17E+04 | 3,37E+02  | 1,93E+03 | 5,54E+04 | 1,98E+01 | 2,28E+04  |
| Smartphone                                                                                                                                                       | 50 unité          |                                     | 4,10E+02                                  | 2,40E+04                                                                                                                                                                                                           | 9,75E+00                            | 2,67E+04                            | 9,52E+07                                                                                                            | 1,13E+05                                                    | 5,90E+02  | 2,12E+00 | 1,24E+01 | 1,73E+03 | 8,18E+03 | -4,54E+01 | 5,35E+04 | 5,52E+05 | 4,04E+00 | -1,13E+03 |
| Ecran                                                                                                                                                            | 33 unité          |                                     | 5,42E+02                                  | 2,27E+04                                                                                                                                                                                                           | 3,33E+00                            | 2,38E+03                            | 2,38E+09                                                                                                            | 2,87E+08                                                    | 6,37E+01  | 8,43E+01 | 5,30E+00 | 7,81E+00 | 3,97E+03 | 2,58E+05  | 3,38E+05 | 1,97E+00 |          | -3,00E+01 |
| Projecteur                                                                                                                                                       | 5 unité           |                                     | 4,80E+02                                  | 2,43E+04                                                                                                                                                                                                           | 4,38E+00                            | 6,82E+03                            | 6,51E+05                                                                                                            | 5,70E+08                                                    | 2,33E+01  | 1,03E+00 | 6,34E+00 | 9,28E+02 | 4,34E+03 | -4,24E+01 | 2,48E+05 | 2,84E+05 | 2,18E+00 | -1,10E+01 |
| TV                                                                                                                                                               | 10 unité          |                                     | 5,80E+02                                  | 8,97E+04                                                                                                                                                                                                           | 2,84E+01                            | 2,44E+04                            | 2,04E+05                                                                                                            | 5,93E+05                                                    | 2,43E+00  | 6,11E+00 | 6,03E+01 | 5,04E+03 | 1,25E+03 | 2,54E+05  | 9,23E+05 | 3,22E+04 | 1,91E+01 | 3,07E+03  |
| Imprimante                                                                                                                                                       | 2535 kg de papier |                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| Sous-total Parc IT                                                                                                                                               |                   |                                     | 8,54E+01                                  | 6,19E+05                                                                                                                                                                                                           | 1,28E+02                            | 2,87E+05                            | 2,49E+05                                                                                                            | 2,13E+04                                                    | 2,04E+00  | 2,14E+01 | 1,94E+02 | 2,24E+04 | 5,97E+04 | 2,51E+05  | 4,14E+03 | 1,17E+03 | 6,13E+01 | -2,89E+01 |
| Sous-total Parc IT normalisé                                                                                                                                     |                   |                                     | 1,34E+01                                  | 9,53E+00                                                                                                                                                                                                           | 2,29E+00                            | 5,06E+00                            | 1,44E+00                                                                                                            | 1,63E+00                                                    | 1,10E+00  | 1,10E+00 | 1,10E+00 | 2,96E+00 | 1,42E+01 | 3,07E+01  | 7,91E+02 | 1,97E+00 | 1,50E+00 | -2,52E+01 |
| Infrastructure IT                                                                                                                                                |                   |                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| Serveur                                                                                                                                                          | 5 unité           |                                     | 3,83E+02                                  | 1,94E+05                                                                                                                                                                                                           | 3,23E+01                            | 4,84E+04                            | 1,94E+07                                                                                                            | 1,87E+05                                                    | -2,58E+01 | 5,58E+00 | 4,53E+01 | 7,74E+03 | 3,05E+04 | -1,47E+02 | 1,36E+03 | 2,22E+04 | 1,63E+01 | -3,71E+03 |
| Switch                                                                                                                                                           | 3 unité           |                                     | 1,34E+01                                  | 6,80E+03                                                                                                                                                                                                           | 3,20E+00                            | 1,07E+04                            | 1,70E+06                                                                                                            | 1,74E+05                                                    | 5,08E+01  | 9,42E+01 | 5,74E+00 | 4,14E+02 | 5,14E+02 | 1,70E+03  | 1,78E+05 | 2,18E+05 | 1,68E+00 | 8,35E+01  |
| Routeur                                                                                                                                                          | 1 unité           |                                     | 4,46E+01                                  | 2,27E+03                                                                                                                                                                                                           | 1,07E+00                            | 3,58E+03                            | 5,65E+07                                                                                                            | 5,78E+06                                                    | 1,70E+01  | 1,81E+01 | 1,91E+00 | 1,38E+02 | 1,73E+06 | 5,65E+02  | 5,38E+06 | 7,22E+06 | 5,15E+01 | 2,78E+01  |
| Sous-total Infrastructure IT                                                                                                                                     |                   |                                     | 2,17E+01                                  | 2,05E+05                                                                                                                                                                                                           | 3,66E+01                            | 6,27E+04                            | 2,48E+06                                                                                                            | 4,18E+05                                                    | 4,22E+01  | 6,31E+00 | 5,30E+01 | 8,30E+03 | 3,12E+04 | 2,11E+03  | 1,38E+03 | 2,43E+04 | 1,84E+01 | -3,60E+03 |
| Sous-total Infrastructure IT normalisé                                                                                                                           |                   |                                     | 3,43E+00                                  | 3,15E+00                                                                                                                                                                                                           | 6,08E+01                            | 1,11E+00                            | 1,48E+01                                                                                                            | 3,25E+01                                                    | 2,62E+01  | 3,23E+01 | 3,00E+01 | 1,10E+00 | 2,38E+03 | 2,58E+03  |          |          | 4,99E+01 | -3,14E+01 |
| Total :                                                                                                                                                          |                   |                                     | 1,07E+00                                  | 8,24E+05                                                                                                                                                                                                           | 1,64E+02                            | 3,50E+05                            | 2,73E+05                                                                                                            | 2,55E+04                                                    | 2,46E+00  | 2,77E+01 | 2,47E+02 | 3,07E+04 | 9,09E+04 | 2,53E+05  | 5,52E+03 | 1,41E+03 | 7,97E+01 | -4,48E+03 |
| Facteur de normalisation (B) (coefficient) :                                                                                                                     |                   |                                     | 1,57E+01                                  | 1,54E+05                                                                                                                                                                                                           | 1,80E+02                            | 1,76E+05                            | 5,80E+04                                                                                                            | 7,77E+04                                                    | 6,22E+01  | 5,12E+02 | 5,66E+03 | 1,32E+04 | 2,37E+04 | 1,22E+06  | 1,91E+01 | 1,68E+03 | 2,45E+02 | 8,72E+05  |
| Facteur de normalisation (idem coefficient mais 1/n) :                                                                                                           |                   |                                     | 6,36E+02                                  | 6,50E+04                                                                                                                                                                                                           | 5,56E+01                            | 5,67E+04                            | 1,73E+05                                                                                                            | 1,23E+04                                                    | 1,61E+00  | 1,95E+01 | 1,77E+02 | 7,55E+03 | 4,22E+03 | 8,19E+05  | 5,23E+02 | 5,95E+04 | 4,09E+01 | 1,15E+04  |
| (publia EU : <a href="https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC915331">https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC915331</a> ) |                   |                                     |                                           |                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                                     |                                                                                                                     |                                                             |           |          |          |          |          |           |          |          |          |           |
| TOTAL normalisé :                                                                                                                                                |                   |                                     | 1,68E+01                                  | 1,27E+01                                                                                                                                                                                                           | 2,95E+00                            | 6,17E+00                            | 1,58E+00                                                                                                            | 1,98E+00                                                    | 1,53E+00  | 1,42E+00 | 1,40E+00 | 4,06E+00 | 2,15E+01 | 3,09E+01  | 1,06E+01 | 2,37E+00 | 1,95E+00 | -5,65E+01 |

FIGURE 12 – Aperçu des résultats d'impact selon les 16 catégories EF dans l'outil Excel

Cette approche permet une évaluation plus exhaustive et transparente, en laissant place à l'interprétation des résultats sur des bases complètes plutôt que sur des présélections implicites.

## Résultats obtenus et sélection finale

Dans le cas de notre étude, les cinq indicateurs les plus souvent cités dans la littérature se sont révélés également significatifs à l'échelle du service IT analysé. Ils ont donc été conservés dans la présentation finale des résultats, pour des raisons de :

- **Pertinence environnementale** : ils représentent des pressions majeures associées au numérique.
- **Cohérence scientifique** : leur choix s'appuie à la fois sur la littérature et sur les résultats concrets obtenus.
- **Efficacité de communication** : ils sont plus faciles à présenter à des décideurs non-experts.

## Limites méthodologiques et approfondissements non réalisés

Nous avons envisagé l'intégration d'indicateurs alternatifs tels que :

- **CRM Indicator** : pour la criticité des matériaux
- **ESSENZ** : pour une analyse sociale et critique de l'extraction des ressources

Cependant, ces indicateurs ne sont pas intégrés aux outils utilisés. *monacvnumerique.fr* et *NumEcoEval* qui se limitent strictement aux indicateurs EF standards. De même, notre outil Excel est alimenté à partir de données issues de la Base Empreinte de l'ADEME, qui ne permet pas une personnalisation aussi poussée.

En conséquence, seuls des logiciels complets d'ACV comme *SimaPro* ou *OpenLCA* permettraient une extension vers ces dimensions critiques, grâce à leur capacité à intégrer des méthodes de caractérisation alternatives ou à construire des indicateurs spécifiques.

## Conclusion

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux, bien que fortement automatisée, reste une phase critique en ce qu'elle dépend directement des choix réalisés en amont : méthode de caractérisation et sélection des indicateurs. Notre étude illustre l'intérêt d'une approche flexible et complète, tout en mettant en évidence les limites actuelles des outils numériques disponibles pour des analyses multicritères personnalisées.

## **B.4 Interprétation des résultats (étape IV)**

**Avertissement préalable** : Les résultats présentés dans cette section ne doivent en aucun cas être généralisés à d'autres départements IT. Chaque organisation possède des spécificités propres à sa structure, à son usage du numérique et à son infrastructure. De plus, l'analyse présentée ici s'appuie sur un cas d'étude **fictif**, construit uniquement à partir de la littérature scientifique et de données issues de bases de données environnementales. Le processus n'a pas suivi une vérification complète de la qualité des données, et plusieurs éléments importants, tels que les trajets des employés ou les impacts liés au bâtiment, ont été exclus, comme précisé dans le périmètre de l'étude (voir section B.1).

## Analyse des résultats

À l'échelle globale, pour un département IT de cinq personnes en charge du numérique d'une entreprise d'environ 100 employés, les différents outils utilisés ont abouti à des résultats cohérents sur les grandes tendances, bien que des écarts notables existent sur certains indicateurs spécifiques.

- **Impacts environnementaux prioritaires** : Sur *NumEcoEval*, l'épuisement des ressources arrive en tête, suivi par le changement climatique, puis par les émissions de particules fines (voir Figure 14). Les impacts liés à l'acidification et aux radiations ionisantes sont peu représentés. À l'inverse, sur l'outil *Excel maison*, les radiations ionisantes sont en première position, suivies de l'épuisement des ressources et du changement climatique (voir Figure 13). L'acidification, les particules fines et la formation d'ozone photochimique apparaissent ensuite à égalité. À l'exception de la divergence sur les radiations ionisantes, la plupart des grandes orientations restent similaires, avec une pression forte sur les ressources et les impacts climatiques. On observe des ordres de grandeur similaires sur les résultats normalisés par habitant des deux outils.



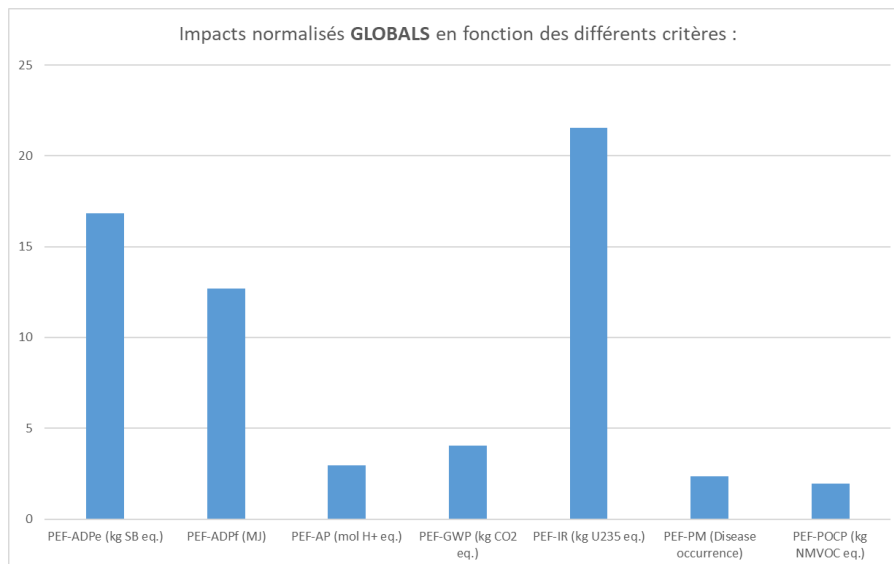


FIGURE 13 – Graphique d’impact total suivant les différents critères pertinents pour l’outil maison normalisé par équivalent habitant

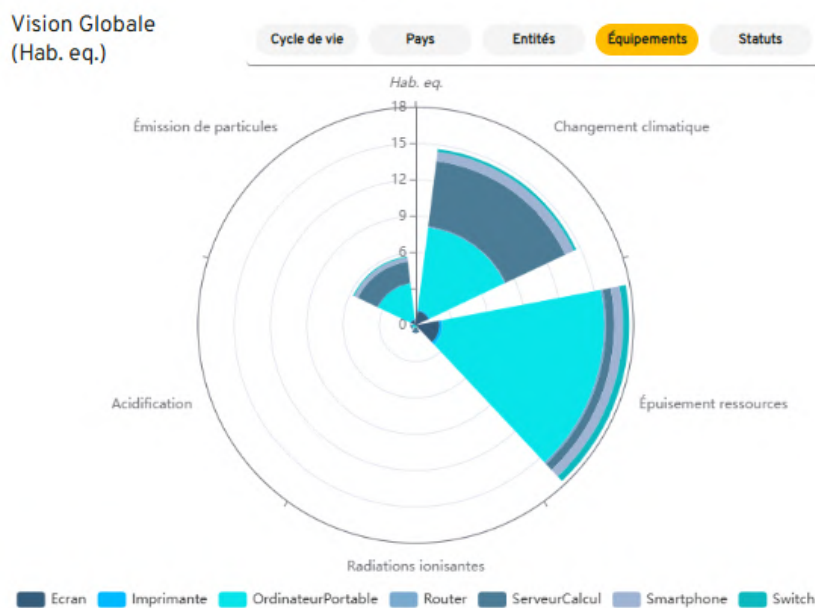


FIGURE 14 – Graphique d’impact suivant les types d’équipements pour l’outil NumEcoEval

- **Équipements les plus impactants** : Les équipements qui ressortent de manière systématique sont les *laptops*, les *serveurs*, le *compte MS365* (calculé uniquement via l’outil maison), et l’*imprimante* (fortement présente dans l’outil maison mais pas dans NumEcoEval, probablement dû à l’utilisation de bases de données différentes : Ecoinvent vs Resilio) (voir Figures 14 et 15). Ensemble, ces éléments représentent systématiquement **60 à 70 %** des impacts, tous critères confondus. Le poids élevé des serveurs s’explique par leur fabrication très consommatrice en ressources ainsi qu’une consommation énergétique soutenue en phase d’usage. Pour les laptops, bien qu’individuellement plus légers, c’est leur nombre qui fait pencher la balance.

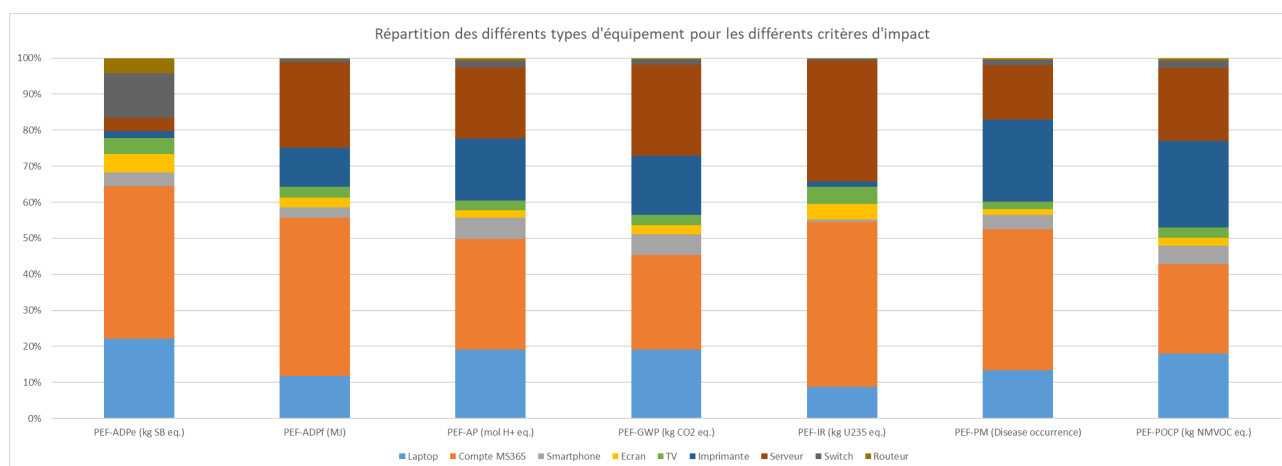


FIGURE 15 – Graphique de répartition des impacts suivant les types d'équipements pour chaque critère pour l'outil maison

- **Répartition entre parc IT et infrastructure** : Les deux outils convergent clairement sur ce point : la majorité des impacts environnementaux est liée au **parc IT** (laptops, écrans, smartphones, etc.), davantage qu'à l'infrastructure (serveurs, réseaux) (voir Figures 17 et 16).

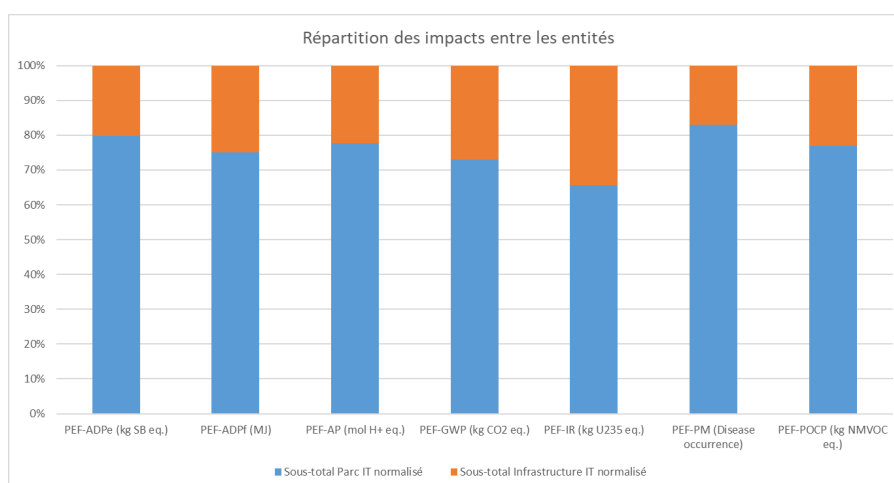


FIGURE 16 – Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour l'outil maison

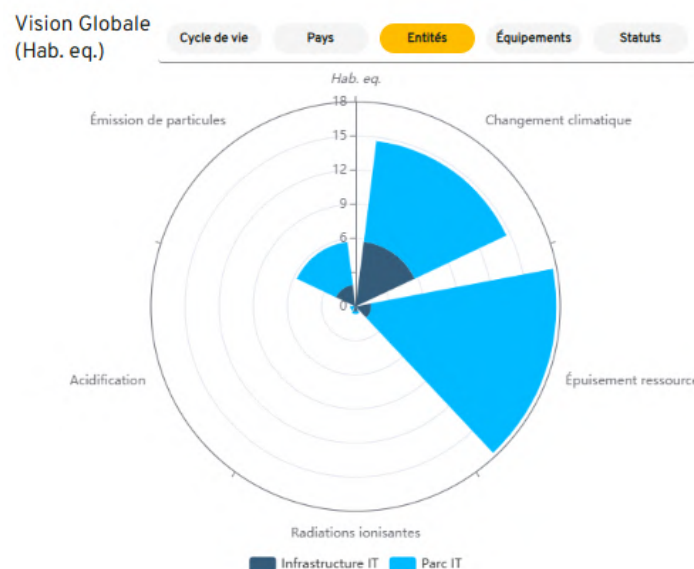


FIGURE 17 – Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour NumEcoEval

- **Phases du cycle de vie** (analyse uniquement disponible via NumEcoEval) : Les résultats varient selon les critères d’impact. Pour l’*épuisement des ressources*, les impacts proviennent presque exclusivement de la phase de fabrication. À l’inverse, pour le *changement climatique* ou les *émissions de particules*, les impacts sont plus répartis entre la fabrication et l’usage (voir Figure 18).

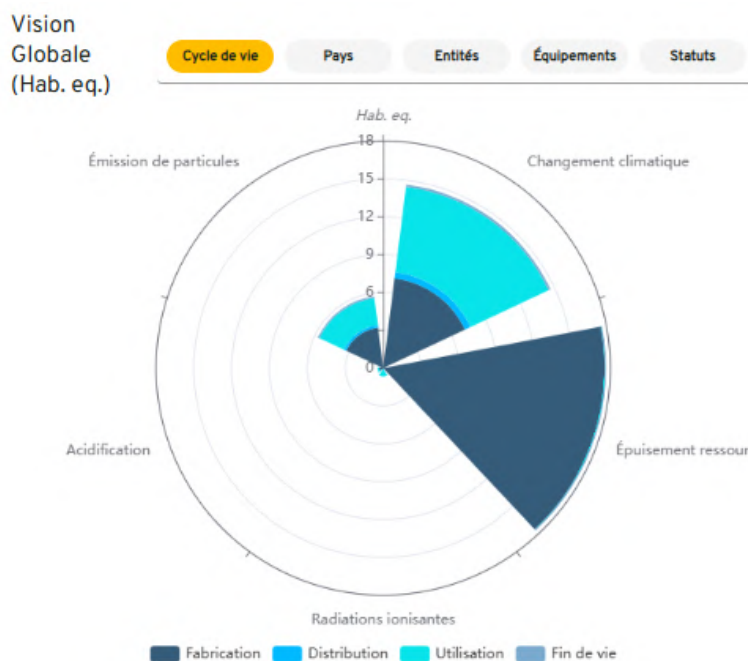


FIGURE 18 – Graphique de répartition des impacts suivant les entités pour chaque critère pour NumEcoEval

- **Répartition par services et applications** : Le service “*Gestion et administration du parc IT*” concentre logiquement une grande partie des impacts, puisqu’il regroupe l’ensemble des équipements utilisateurs. Vient ensuite le service “*Développement et mainte-*

nance des applications internes”, où se retrouvent les infrastructures serveurs et applications internes. Nous arrivons à ces conclusions avec l’outil maison (voir Figure 19) et l’outil *monacvnumerique.fr* confirme cette tendance, bien que l’ampleur relative entre les deux services soit inversée pour ce deuxième outil. Le service “Développement et maintenance” est largement en tête, car le parc IT est modélisé de manière plus générique, ce qui sous-estime vraisemblablement sa contribution. L’interface moins flexible et moins globale de *monacvnumerique.fr* ne permet pas de générer une illustration de cette analyse.

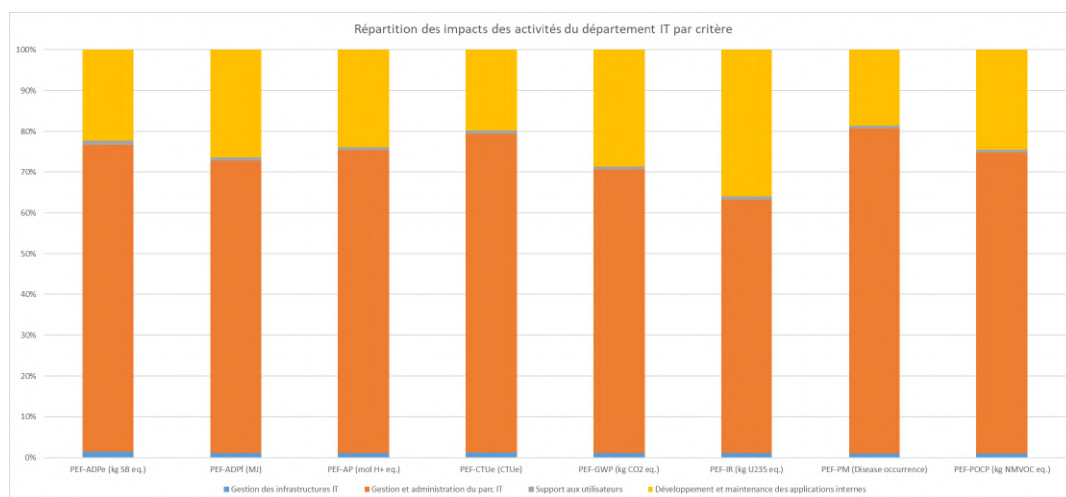


FIGURE 19 – Graphique de répartition des impacts suivant les services pour chaque critère pour l’outil maison

- **Postes d’impact (activité)** : Tous les outils s’accordent pour positionner en tête les *postes de travail* (laptops, écrans, etc.) et les *datacenters* (serveurs), et ce, quels que soient les services étudiés (voir Figures 14, 15 et 20).



FIGURE 20 – Graphique de répartition des impacts suivant les types d’équipements pour chaque critère pour l’outil *monacvnumerique.fr*

- **Ordres de grandeur des impacts** : Les outils *monacvnumerique.fr* et *l’outil maison* affichent des résultats relativement comparables en termes d’ordres de grandeur. On observe des totaux allant de **un à huit équivalents habitants** selon les services pour l’outil maison, et une plage similaire (mais avec une moyenne légèrement supérieure, de **3 à 20 équivalents habitants**) sur *monacvnumerique.fr*.

## Conclusion de l'analyse

Malgré des divergences sur certains postes ou indicateurs, les analyses convergent globalement sur les grandes tendances : le **parc IT** est un contributeur majeur, les **laptops** et **serveurs** dominent les impacts, et la **fabrication** constitue une phase critique, notamment pour l'épuisement des ressources.

Il convient toutefois de rappeler que l'objectif principal de cette analyse n'est pas la recherche de chiffres absolus ou universels, mais bien d'**orienter l'action**. Les résultats obtenus doivent surtout servir à prioriser des actions concrètes de réduction, adaptées à la réalité de l'entreprise. Le plus important reste la mise en place de ces actions, et la mesure de leur efficacité dans le temps.

La valeur réelle de ce travail apparaîtra si cette démarche est réitérée dans **un, deux ou trois ans**, afin de constater si les décisions prises ont permis une réduction effective des impacts. C'est à cette condition que l'analyse environnementale du numérique prend tout son sens dans une logique d'amélioration continue.

## Analyse d'incertitude et de sensibilité

Dans toute analyse de cycle de vie organisationnelle, en particulier dans le domaine du numérique, il est essentiel d'évaluer le degré de confiance que l'on peut accorder aux résultats obtenus. Cette sous-section vise à rappeler l'importance d'identifier les sources potentielles d'incertitude dans les résultats, de tester leur sensibilité à certains paramètres, et de reconnaître les limites induites par les données disponibles.

En s'appuyant sur le travail d'analyse de la qualité des données présenté précédemment (voir B.2) et en tenant compte des hypothèses spécifiques formulées pour l'analyse, il convient d'identifier les résultats ou catégories d'impacts susceptibles d'être affectés par des approximations importantes. Ces incertitudes peuvent découler de différentes causes : utilisation de données secondaires génériques, hypothèses simplificatrices (par exemple sur la durée de vie des équipements ou la répartition des usages), ou encore exclusions de certaines sources d'impacts.

Dans les cas où l'incertitude autour d'un résultat est jugée trop importante, plusieurs stratégies peuvent être envisagées :

- **Exclusion ou non-interprétation du résultat concerné**, en indiquant clairement les limites associées.
- **Amélioration du jeu de données** à travers une démarche itérative (remplacement de données, collecte d'informations plus précises, revue des hypothèses).
- **Tests qualitatifs**, visant à mieux cerner les ordres de grandeur, ou à comparer différentes options technologiques ou organisationnelles sur la base d'une logique de plausibilité.

En complément, des **analyses de sensibilité** peuvent être réalisées pour évaluer dans quelle mesure les résultats varient en fonction de certains paramètres clés. Par exemple :

- Modifier la durée de vie des équipements (ex. : 3 vs. 5 ans pour les ordinateurs portables).
- Faire varier les taux d'usage des serveurs ou équipements (utilisation constante vs. partielle).
- Tester l'impact du changement de fournisseur cloud ou de la virtualisation accrue.
- Ajuster les hypothèses de consommation électrique ou de volume de données transférées.

De tels scénarios permettent de vérifier si les résultats globaux restent robustes ou, au contraire, s'ils dépendent fortement d'un paramètre mal connu. Une sensibilité forte à un paramètre constitue un signal utile : soit pour prioriser la collecte d'informations plus fiables, soit pour guider les décisions d'optimisation (par exemple, allonger la durée de vie de certains

équipements ou réduire les usages peu performants).

Enfin, il est crucial de **cartographier les zones d'incertitude ou d'approximation**, en particulier les postes où l'on suspecte une sous-estimation ou surestimation des impacts. Cette connaissance permet de mieux interpréter les résultats, d'éviter des décisions biaisées, et de construire une feuille de route d'amélioration continue de l'analyse.

## C Vue globale du diagramme de positionnement

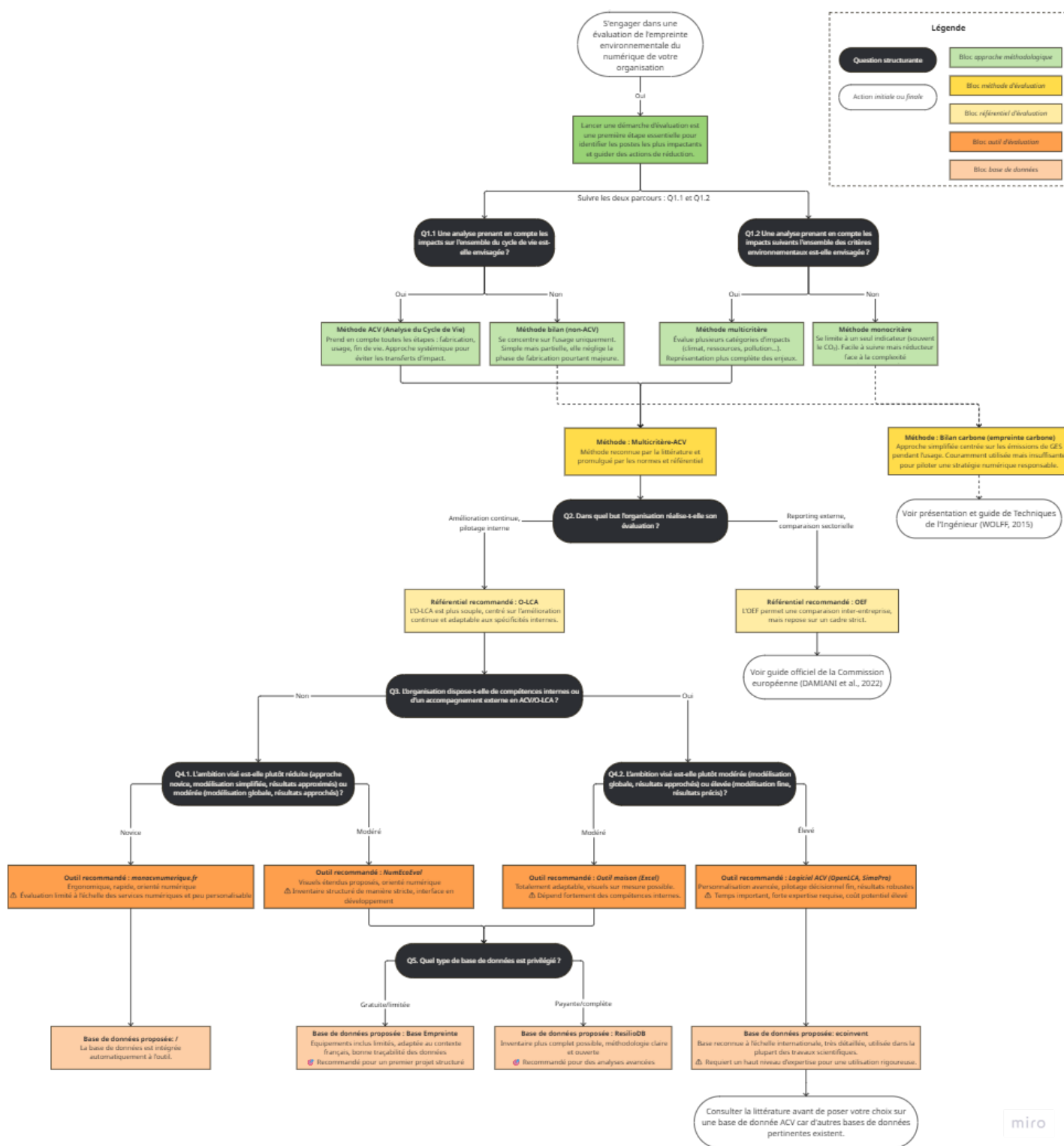


FIGURE 21 – Diagramme de positionnement des approches et outils pour l'évaluation environnementale du numérique